

5 GHz 帯無線アクセスシステムの長距離海上電波伝搬特性
及び集中豪雨減衰に関する調査検討

報告書

平成 22(2010) 年 3 月

5 GHz 帯無線アクセスシステムの長距離海上電波伝搬特性
及び集中豪雨減衰に関する調査検討会

はじめに

インターネットには、手軽な情報の収集、交換、及び発信の機能があり、単に便利なだけでなく、その経済効果や福祉向上の可能性をも考慮すると、もはや現在の生活には欠かせない存在となっている。このような中、我が国においては、ブロードバンドインターネットが全国どこでも利用できるような整備が急務となっており、特に九州地域においては、ブロードバンド・ゼロ世帯の多くが、海底ケーブル等の有線によるネットワーク構築が困難な離島地域に散在している。

その本土・離島、離島・離島間を結ぶ比較的安価で回線構築の柔軟性を有する無線によるネットワークアクセスが有効な手段であることから、2008 年度において、総務省九州総合通信局による「離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した無線アクセスシステム構築のための調査検討会」が実施された。同調査検討会においては、2.4GHz 帯、5GHz 帯、25GHz 帯等のいくつかの周波数における海上電波伝搬に関する調査が行われ、潮位変動や降雨量・気温といった気象条件を受けにくく、かつ高速データ伝送に適した性質を兼ね備えるためには、5GHz 帯の使用が有望であることが見出された。

しかしながら、この 5GHz 帯の周波数においても、気象条件への依存がより小さい安定した電波伝搬の実現のためには、降雨に対する耐性や季節の違いによる性質を見極めることが必要であり、より長期に亘る検討と、それを踏まえた対策を無線システムに織り込むことが必要とされた。

本調査検討会では、このようなことを踏まえ、5GHz 帯に注目した検討を行うこととしたものである。特に、降雨量や気温、海面温度等の気象条件の変化による電波伝搬特性の違いを把握し、それらに対応するための無線システムへの対策等を行い、設置が容易で導入しやすい特徴を考慮した技術要件について調査検討を行っている。

本報告書が、今後の長距離海上電波伝搬に関する行政施策に資すると共に、離島等のブロードバンド整備促進を加速させ、ブロードバンド・ゼロ解消にお役に立つことを期待するものである。

2010 年 3 月

5GHz 帯無線アクセスシステムの長距離海上電波伝搬特性
及び集中豪雨減衰に関する調査検討会 座長 福迫 武

目 次

はじめに

第 1 章 調査検討の背景と目的等	1
1.1 背景と目的	1
1.2 調査検討項目と検討内容	4
1.3 電波伝搬試験のための条件等	7
第 2 章 電波伝搬試験のための事前検討	8
2.1 ルート回線構成	8
2.2 ハイトパターン（最適アンテナ設置高について）	9
2.3 反射波干渉伝搬路	13
2.4 見通し図	14
2.5 受信電力	16
2.6 アンテナの技術特性	17
2.7 最大伝送速度	18
2.8 スペースダイバーシティ、偏波ダイバーシティの事前考察	19
2.9 降雨減衰	23
第 3 章 電波伝搬試験概要	24
3.1 アンテナ高の変更	24
3.1.1 変更内容	24
3.1.2 変更後の回線設計	25
3.2 長距離海上電波伝搬特性評価試験	32
3.2.1 気象・海象条件下での電波伝搬特性試験	32
3.2.2 周波数選択性フェージング評価試験	51
3.3 アンテナ伝送技術評価試験	57
3.3.1 スペースダイバーシティ方式評価試験	57
3.3.2 偏波面の評価試験	62
3.4 集中豪雨等による降雨減衰特性評価試験	73
3.5 通信品質評価試験	87
第 4 章 信頼性のある長距離海上電波伝搬のための技術的要件	93
4.1 気象条件との関係	93
4.2 周波数選択性フェージングについての考察	106
4.3 スペースダイバーシティ方式についての考察	109
4.4 偏波面についての考察	113
4.5 集中豪雨等による降雨減衰についての考察	117

4.6 通信品質についての結果	128
4.7 試験結果検証	129
第5章 まとめ	131
5.1 信頼性のある長距離海上電波伝搬に必要な対策	131
5.1.1 気象変化に対する一般的なシステム対策	131
5.1.2 20 km超の長距離海上電波伝搬に向けて	133
5.1.3 より信頼性向上のために要求される対策等	134
5.2 長距離海上伝搬路の問題点と今後の展開	136
5.3 今後の課題	144
<資料>	145
資料1	146
資料2	147
資料3	150
<別冊>	151
<用語集>	339

第1章 調査検討の背景と目的等

1.1 背景と目的

平成21年3月の「離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した無線アクセスシステム構築のための調査検討」報告書において、離島等までの中・長距離の伝搬路で、海上電波伝搬に適した無線アクセスシステム構築のために、周波数の異なる様々な無線アクセスシステムの電波伝搬特性の把握、電波伝搬技術についての調査検討を行った結果、5GHz帯については、円偏波を使用することにより潮位の変化による影響が少なく、長距離においても高速通信が可能な上、無線局登録制度により他の周波数からの干渉も少なく、長距離で有効なシステムであるという結論を得ている。

さらに、5GHz帯の無線アクセスシステムを安定的に使用するため、前調査検討会で行わなかったスペースダイバーシティ（space diversity：以下「SD」という。）や偏波ダイバーシティなどについて調査検討し、また、夏季のデータ収集を行い、平成20年度の冬季のデータとあわせて、通年のデータを収集考察することにより、長距離海上伝搬路における技術的な検討を行い、より安定した伝送技術のための考察を行う。また、一般的には影響が少ないと言われている降雨の影響について、特に、短期的多量降雨時の降雨減衰特性を調査することが望ましいことから、本「5GHz帯無線アクセスシステムの長距離海上電波伝搬特性及び集中豪雨減衰に関する調査検討」を行うことを目的とする。

短期的多量の降雨状況がどうなのかを調査するために、表1.1.1に九州の主な集中豪雨をまとめた。

表1.1.1 近年の集中豪雨（九州地方）

年月日	概要	降雨記録
2007年7月2日～4日	梅雨前線に伴う大雨	2日佐賀県白石 72mm/h、福岡県柳川 67mm/h 3日鹿児島県枕崎 66.5mm/h、4日大分県温見 57mm/h
2007年7月5日～8日	梅雨前線に伴う大雨	6日熊本県大金峰 85mm/h 7日熊本県八代 77mm/h、鹿児島県屋久島 50mm/h
2007年7月10日～11日	梅雨前線に伴う大雨	11日鹿児島県南大隈町佐多 107mm/h、鹿児島県肝付町甫与志岳 89mm/h
2007年7月12日～14日	台風第4号	13日宮崎県西都 85mm/h、宮崎県日向 84mm/h、宮崎県国富 68mm/h 14日鹿児島県上屋久町小瀬田 66mm/h、鹿児島県南大隈町佐多 62mm/h
2007年8月2日～3日	台風第5号	2日宮崎県日之影町見立 91mm/h、宮崎県美郷町神門 84mm/h、大分県温水 87mm/h、大分県佐伯市宇目付近 120mm/h以上（解析雨量）
2008年6月19日～22日	梅雨前線に伴う大雨	19日福岡県黒木町付近、熊本県山鹿市付近 110mm/h（解析雨量） 22日熊本県山江 78.0mm/h、熊本県多良木 58.0mm/h、熊本県湯前横谷 69.5mm/h
2008年9月13日～19日	台風第13号	15日鹿児島県枕崎 71.5mm/h、17日鹿児島県古仁屋 70mm/h、18日宮崎県日向約 110mm/h（解析雨量）、宮崎県日南市油津 73.0mm/h、鹿児島県内之浦 91.0mm/h

気象庁資料より九州総合通信局作成

表 1.1.1 より、梅雨前線や台風で大雨が降っている。

夏季のデータ収集を行うあたり、2005～2008 年の熊本地域の気象状況を調査し、表 1.1.2 と表 1.1.3 に熊本地域の年度別（2005-2008 年、4-9 月）の集中豪雨傾向を示す。

表 1.1.2、表 1.1.3 より、降雨量が多いのは、6 月下旬～7 月上旬の梅雨の頃であるが、短期的に降雨量が多いのは、7 月中旬から 9 月の夏季の時期にもある。また、瞬間風速が強いのは、8 月、9 月である。

表 1.1.2 熊本地域の年度別集中豪雨傾向（2007-2008 年、4-9 月）

		2008 年降水量			風速	日照	2007 年降水量			風速	日照
月	旬	合計 (mm)	1 日 最大 (mm)	1H/10M 最大 (mm)	瞬間 風速 (m/s)	日 照 (h)	合計 (mm)	1 日 最大 (mm)	1H/10M 最大 (mm)	瞬間 風速 (m/s)	日 照 (h)
4	上	72.0	52.0	11.0/6.0	12.9	49.1	6.0	3.5	1.5/0.5	18.0	59.1
	中	15.5	11.0	4.0/2.5	14.2	64.4	33.5	26.5	3.0/2.0	19.3	65.8
	下	28.0	27.5	7.5/2.0	16.9	74.5	69.0	51.0	22.0/10.0	11.1	52.5
5	上	62.0	55.0	9.5/2.0	15.6	60.3	96.0	25.0	13.5/4.0	17.8	63.5
	中	20.0	19.0	5.5/1.5	13.9	91.0	9.0	5.0	4.0/1.5	17.7	81.8
	下	127.5	61.5	26.0/12.0	17.9	64.1	36.0	36.0	17.0/5.0	16.0	87.9
6	上	62.0	26.0	11.5/3.0	14.1	40.9	7.0	4.0	2.5/1.0	13.4	60.9
	中	394.5	117.0	28.0/13.5	12.6	32.9	75.0	43.5	7.5/4.0	13.3	35.1
	下	319.5	117.5	32.5/10.5	12.6	24.1	102.0	47.0	29.5/9.0	17.9	35.0
7	上	95.0	85.0	28.0/9.0	12.0	80.6	565.0	184.0	64.0/22.5	18.5	8.4
	中	93.0	68.5	51.5/15.0	10.8	68.3	109.5	70.5	25.5/15.5	22.7	32.9
	下	16.0	15.0	14.0/7.0	16.4	109.2	0.0	0.0	0.0/0.0	11.6	96.1
8	上	4.5	4.5	4.0/2.0	17.0	81.2	154.0	75.0	25.5/15.0	26.2	66.7
	中	95.5	61.5	44.0/19.5	20.5	57.0	0.5	0.5	0.5/0.5	16.3	92.5
	下	126.5	34.5	31.5/21.5	14.8	52.8	21.0	17.0	14.5/6.0	11.4	80.6
9	上	5.5	3.0	3.0/2.0	12.2	78.4	38.5	10.0	7.5/4.5	14.0	75.2
	中	103.5	81.5	17.0/6.5	12.6	27.6	42.0	36.5	35.5/14.0	13.4	71.0
	下	185.5	82.0	18.5/9.0	14.0	32.5	0.0	0.0	0.0/0.0	10.4	66.4

気象庁降水量データより九州総合通信局作成

表 1.1.3 熊本地域の年度別集中豪雨傾向（2005-2006 年、4-9 月）

		2006 年降水量			風速	日照	2005 年降水量			風速	日照
月	旬	合計 (mm)	1 日 最大 (mm)	1H/10M 最大 (mm)	瞬間 風速 (m/s)	日 照 (h)	合計 (mm)	1 日 最大 (mm)	1H/10M 最大 (mm)	瞬間 風速 (m/s)	日 照 (h)
4	上	136.5	39.5	11.5/5.5	20.6	48.8	54.0	34.0	12.5/3.0	16.9	61.2
	中	56.0	25.0	6.5/5.5	19.0	51.2	27.5	22.5	8.5/2.5	13.3	74.4
	下	23.0	19.0	7.0/2.0	12.4	70.2	10.5	9.5	7.5/3.5	19.2	81.2
5	上	101.5	44.0	12.0/5.0	14.5	49.5	126.5	65.0	21.5/7.0	13.1	54.8
	中	91.0	38.0	7.5/2.0	14.8	19.5	6.0	6.0	4.5/2.0	13.0	82.8
	下	21.0	10.0	4.0/1.5	17.2	55.4	2.5	2.5	2.5/2.5	12.9	91.4
6	上	7.5	4.5	2.5/1.0	21.3	55.9	39.0	38.0	8.5/1.5	13.6	84.5
	中	103.5	81.5	16.0/4.0	11.6	62.6	17.0	16.5	7.0/2.0	13.9	69.5
	下	531.0	195.5	86.5/21.0	17.3	20.5	36.5	18.5	16.5/9.5	15.3	49.1
7	上	166.5	61.0	38.5/13.5	17.6	21.7	267.0	80.0	39.0/13.0	18.4	10.4
	中	202.5	119.5	61.0/19.0	16.7	57.1	24.0	9.5	8.5/5.0	16.1	58.1
	下	420.0	196.0	50.5/14.5	18.6	81.1	74.0	58.0	28.5/12.5	15.4	83.3
8	上	28.5	24.0	24.0/7.0	12.5	94.5	28.0	23.0	15.5/5.0	16.1	70.7
	中	251.0	172.5	27.0/7.0	19.9	48.1	20.5	16.5	6.5/2.5	13.2	75.0
	下	148.0	49.0	32.5/12.5	18.4	63.1	24.5	14.0	4.5/1.5	11.8	49.8
9	上	39.5	26.0	16.0/4.5	11.6	36.1	140.5	76.0	32.5/11.5	28.5	42.6
	中	54.0	20.0	14.5/6.0	33.5	38.9	6.5	4.0	4.0/2.5	12.2	77.4
	下	-	-	-	12.9	95.5	0.0	0.0	0.0/0.0	12.8	80.9

気象庁降水量データより九州総合通信局作成

1.2 調査検討項目と検討内容

本調査検討会における長距離海上電波伝搬試験は、

- ①長距離（20km）海上電波伝搬特性（夏季を含めた長期間の測定）
- ②アンテナ伝送技術
- ③集中豪雨等による降雨減衰特性
- ④通信品質

の4つの調査検討項目を行う。それぞれの検討内容については、つぎのとおりである。

なお、本試験検討では、RSSI(Received Signal Strength Indication)測定により受信レベルの変化を考察する。

※RSSIとは、受信信号強度のことで、受信した電波信号の強さを数値化した指標のことである。

(1) 長距離海上電波伝搬特性の検討

5GHz帯無線アクセスシステムで、長距離区間を長期間評価した実績はあまりない。

本電波伝搬試験では、20kmという長距離を条件の厳しい海上において、4ヶ月程度の長期間の電波伝搬試験を行い、実用回線を構築する上で、影響する各種現象をデータとして取得する。

特に、本試験では、アンテナ高は、変更可能なパラメータであり、高さを変更することで長距離海上電波伝搬特性がどのように変化するかを調査検討する。また、気象現象の温度、風速、潮位などの外的要因で伝搬路上のデータと長距離海上電波伝搬特性がどのように変化するかを調査検討する。

ア 気象・海象条件下での電波伝搬特性（マルチフェージング）の考察

海上電波伝搬路では、一般に送信アンテナから受信アンテナに直接届く直接波と海面で反射して届く反射波の2つの波が合成され、受信レベル(RSSI)が決定されるといわれる。長距離海上伝搬路上の電波伝搬特性については、海面反射（マルチフェージング）等による受信レベルへの影響を的確に把握することが必要である。信頼性の高い無線方式を考察するために、気象・海象条件下での特性の調査を行う。

また、海面反射については、各種気象・海象条件（潮位、天候・気温、海水温、風速）が密接に関係していると考えられることから測定データとの相関・比較する。

イ 最適なアンテナ高の考察

直接波と海面反射波との合成波の受信レベル(RSSI)は、2つの波の経路差が大きく影響し、アンテナの設置する高さによっても、経路差が異なる。更に、海上では、潮位の変化があり、潮位が高くなると、見かけ上、アンテナ高は低くなり、経路差は短くなる。逆に、潮位が低くなると、見かけ上、アンテナ高は高くなり、経路差は長くなる。

海上電波伝搬試験を実施する海域の有明海は、日本でも有数の干満差が大きい場所で、潮位の差は約5m程度であり、干潮時と満潮時の海面反射波の伝搬経路差は、約

3cm である。5GHz 帯周波数の波長は約 6cm であり、半波長の相違が発生する。合成波の受信レベル(RSSI)は、海面反射波の経路差が半波長分あると、最大値から最小値に変化する。

良好な実用回線にするために、最適な高さにアンテナを設置する必要があることから計算値と測定値を比較して、長距離海上電波伝搬における最適なアンテナ高について調査検討する。

ウ マルチパス、周波数選択性フェージングの考察

海上電波伝搬路上の潮位、気温、海水温などの気象条件を調査し、発生する現象との関連性を調査する。また、海上電波伝搬特性を知るために、周波数特性や遅延特性を調査し、フェージングや直接波と海面反射波以外のマルチパスとの関連を考察する。

(2) アンテナ伝送技術の検討

本電波伝搬試験では、円偏波、水平偏波、垂直偏波の 3 種類の偏波面のアンテナを準備し、長距離海上電波伝搬で比較調査する。その中で、安定的な特性が得られるアンテナ伝送方式について検討する。

ア 円偏波スペースダイバーシティ方式の検討

円偏波アンテナは、垂直偏波成分と水平偏波成分の合成であり、各偏波成分を補完しあうため、長期的には、良い特性を得ることができると言われている。また、一般的には、海上電波伝搬路では、直接波と海面反射波との 2 つの波の合成で受信レベル(RSSI)が決定する。送受単一通信路では、潮位が上下することで、海面反射波が変化し、受信レベル(RSSI)が変動する。そのため、受信レベル(RSSI)の変動分を考慮して、充分な回線マージンをとらないと、満足な通信ができない可能性がある。そこで、潮位の上下による受信レベル(RSSI)の変動を最小限に抑えるため、相関関係の低いアンテナ間離隔を選びアンテナを上下に設置することにより、相関関係が低いと上下の回線の受信レベル(RSSI)がともに低くなることが少なくなる。上に設置したアンテナの回線と下に設置したアンテナの回線のうち、受信レベル(RSSI)が高い方の回線を選択できれば、常に高い受信レベル(RSSI)が理想的に得られる。この方式が、SD であり、特に海上電波伝搬において、効果があるといわれている。

本電波伝搬試験において、SD の効果を確認するとともに、最適なアンテナ間離隔を調査する。

イ 偏波ダイバーシティの検討

偏波ダイバーシティは、円偏波アンテナで送信し、円偏波の垂直偏波成分と水平偏波成分をそれぞれ受信し、受信レベル(RSSI)を合成または、選択する方式であり、垂直と水平の偏波面の違いで異なる電波伝搬特性が得られることを利用するものである。また、SD の場合上下にアンテナを設置することと異なり、偏波ダイバーシティはアンテナを横方向に設置するため、SD に比べより物理的制約が少ない。偏波ダイバーシティの効果が認められれば、より簡易・安価なシステム構築が可能であることから、

この偏波ダイバーシティについて、その可能性を調査する。

(3) 集中豪雨等による降雨減衰特性の検討

近年、地球温暖化の影響といわれる短時間での集中豪雨、いわゆる「ゲリラ豪雨」が多発している。一般的に無線通信において、10GHz 帯以上の周波数では、降雨による減衰の影響があるが、5GHz 帯は、影響が少ないといわれている周波数である。

しかし、実用 20km という長距離での伝搬路における集中豪雨の直接の影響を確認し、他に間接的な別要因との影響を含めた相乗的な現象、影響について、フィールド試験において確認し、平成 20 年度に出来なかった夏季の長期間の電波伝搬試験により、梅雨、夏のゲリラ豪雨、台風等での集中豪雨による降雨減衰特性を調査する。

また、自由空間中の電波伝搬路の降雨による減衰を考察すると同時に、降雨によるアンテナ本体への水滴付着現象も降雨減衰の要因として考えられることから、水滴付着の影響も調査する。

(4) 通信品質の検討

5GHz 帯無線アクセスシステムの通信品質について、画像データの伝送や実効速度の測定を行い、通信品質への影響を確認する。

1.3 電波伝搬試験のための条件等

平成 20 年度の「離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した無線アクセスシステム構築のための調査検討報告書」をもとに、設置条件等をつぎのとおりとする。

(1) 同一距離、同一送受信場所

無線局の位置や無線区間の距離などの条件を昨年度と同じにし、今回の試験データと比較するために、海上電波伝搬距離 20km、無線局設置場所も昨年度同様の肥後長浜局と NTT 島原白土局の 2箇所とする。



図 1.3.1 肥後長浜局



図 1.3.2 NTT 島原白土局

(2) アンテナ海拔高の制限

本システムが想定するユーザは離島を持つ市町村等とし、実運用に際し、初期投資等の低廉化が望まれるため、既設の自治体の防災行政無線鉄塔や自主防災設備の海拔高を考慮して、アンテナ高は 40m 以下とする。

(3) アンテナ高、アンテナ偏波面等

アンテナ高は、机上検討（ハイトパターン、潮位の変化を考慮）をもとに設置する。

アンテナ偏波面は、円偏波 S D 方式や偏波ダイバーシティの項目ごとに変化させる。

(4) 試験実施季節

昨年度実施期間（12月—1月）は冬季であったことから、通年の海上電波伝搬特性調査のため、また、短期集中豪雨による減衰特性調査のため、試験期間を夏季とする。

(5) アンテナの仕様

昨年度実施試験と同じアンテナ（アンテナ利得 24dBi）を使用する。

(6) 電波法の遵守

5GHz 帯無線アクセスシステムの無線規格である電波法および IEEE802.11j を遵守する。

第2章 電波伝搬試験のための事前検討

2.1 ルート回線構成

長距離海上電波伝搬試験で使用する肥後長浜局とNTT島原白土局のルート回線構成図を図2.1.1に示す。



図2.1.1 ルート回線構成図

両局の緯度経度は、

肥後長浜局 : 東経 130 度 33 分 44 秒

北緯 32 度 41 分 43 秒

NTT 島原白土局 : 東経 130 度 22 分 8 秒

北緯 32 度 46 分 47 秒

両局間の距離は、20.4kmである。

2.2 ハイトパターン（最適アンテナ設置高について）

電波は直接波の他に地面の反射や建物等の反射、回折、ダクト等による異常伝搬により複数の伝搬路から受信点に届き、その位相により受信レベル(RSSI)が変化する。その内、地面（特に海上の場合は、海面から）等下側からの反射で、アンテナ高により変動する受信レベル(RSSI)変動をハイトパターンと呼び、一定の反射率を想定した場合のパターンを表現している。

肥後長浜局と NTT 島原白土局のアンテナ高は、ハイトパターンから選定する。

また、本調査検討では、低コスト導入の観点から、既存の建築物への取り付けを想定していることからアンテナの海拔高を 40m以下と想定する。

ここでは、円偏波スペースダイバーシティ方式によるアンテナ高は 2箇所に設置し、一方の局（NTT 島原白土局）のアンテナ海拔高を 35mと仮定して、肥後長浜局のハイトパターンを図 2.2.1 に描く。

一般的にスペースダイバーシティを使用する場合の理想アンテナ高の間隔は、相関関係の低いハイトパターンのハーフピッチの整数倍に設定する。

ハイトパターンにおいて空間損失 132 dB と同じ損失である、高さ 31.2mと 22.4mにアンテナ海拔高の配置を想定すると、受信レベル(RSSI)と回線設計値を同じとする事が出来る上に、ハーフピッチ間隔にもなり、理想的な間隔となる。しかし、この位置にアンテナを設置すると下段同士の回線のフレネルゾーンが海上にかかり、空間損失が増大する。

一方、試験対象海上区間の潮位は 5m以内（上下 2.5m）と想定され、アンテナの離隔距離が 5m程度では、ピーク点とヌル点をカバー出来ない。従って、SD方式が合成値でなく切り替え値である事から、両アンテナともにピーク点をカバーする範囲を最適高とする事が望ましいため、ハイトパターンのピーク点及びその上・下で補完する場所に設置する。

よって、ハイトパターンのピーク点である肥後長浜局 26.8m地点に上段アンテナを設置し、その 2.5m程度（※1）低い位置に下段アンテナを設置する。（※1 使用する波長の奇数倍の離隔距離での相関関係が低いことから、2.5m付近の数値では、2.46m(41倍)、2.58m(43倍)となる。）

結果、NTT 島原白土局のアンテナ高は、上段アンテナ高を 35m、下段アンテナ高を 32.54mまたは、32.42mと想定して、肥後長浜局のハイトパターンを図 2.2.1 および図 2.2.2 に描く。

肥後長浜局の上段アンテナ高を 26.8m、下段アンテナを 24.34mまたは、24.22mと想定して、NTT 島原白土局のハイトパターンを図 2.2.3 および図 2.2.4 に描く。

表 2.2.1 にハイトパターンから求めた最適アンテナ高を示す。

表 2.2.1 最適アンテナ高

局名	アンテナ取付海拔高	
	上段アンテナ	下段アンテナ
肥後長浜局	26.8m	24.3m付近
NTT 島原白土局	35.0m	32.5m付近

図 2.2.1、図 2.2.2 に肥後長浜局のハイトパターン（NTT 島原白土局アンテナと NTT 島原白土局下段アンテナ）を示す。

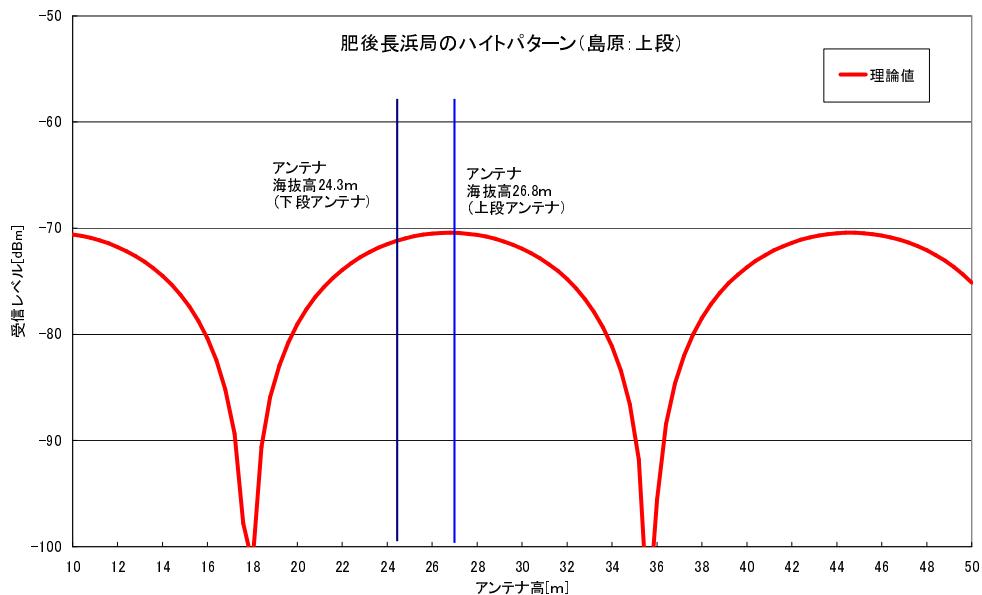


図 2.2.1 肥後長浜局のハイトパターン（NTT 島原白土局上段アンテナ）

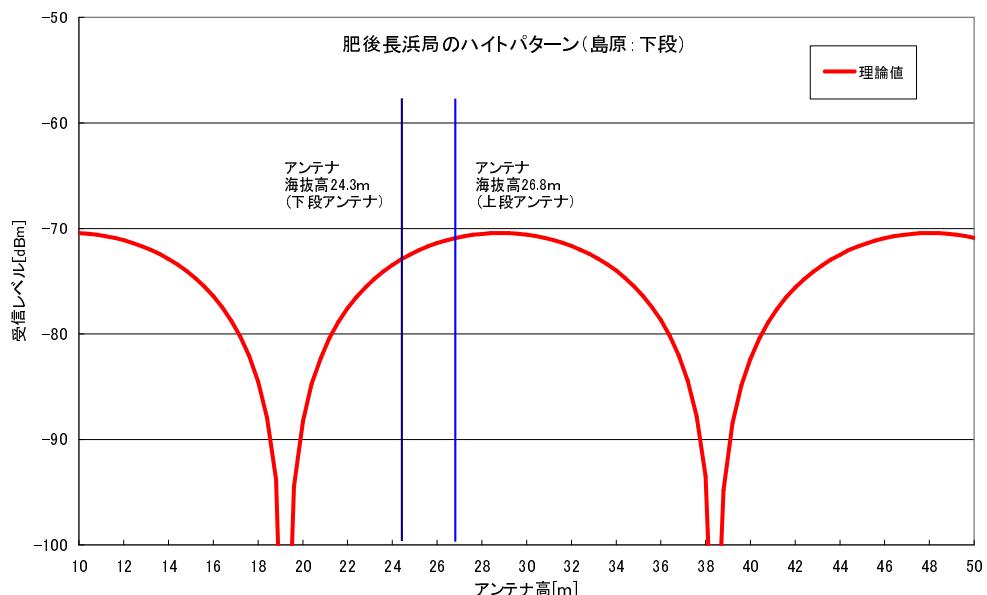


図 2.2.2 肥後長浜局のハイトパターン（NTT 島原白土局下段アンテナ）

伝送損失の変動は、

$$\sin(2\pi h_1 h_2 / d \lambda)$$

で与えられ、相手局のアンテナ設置高の違いで、自局の高さに対する変動周期が変わる。

なお、 h_1 ：肥後長浜局のアンテナ海拔高(m)

h_2 ：NTT 島原白土局のアンテナ海拔高(m)

d ：両局間の距離(m)

λ ：無線機の波長(m)

ハイトパターンの高さに対するヌルポイントの間隔および数が長浜局と白土局で異なるのは、上記計算より周波数の他にアンテナ高のパラメータが影響する事による。その結果パターン図に相違が出る。

この図の一番落ち込む点をヌル点と呼び、受信レベル(RSSI)が低下するポイントである。このポイントは、海上電波伝搬の場合、潮位の影響を受け、上下するのでアンテナ設置では、外す等考慮する。

図 2.2.3、図 2.2.4 に NTT 島原白土局のハイトパターン（相手局上段アンテナと相手局下段アンテナ）を示す。

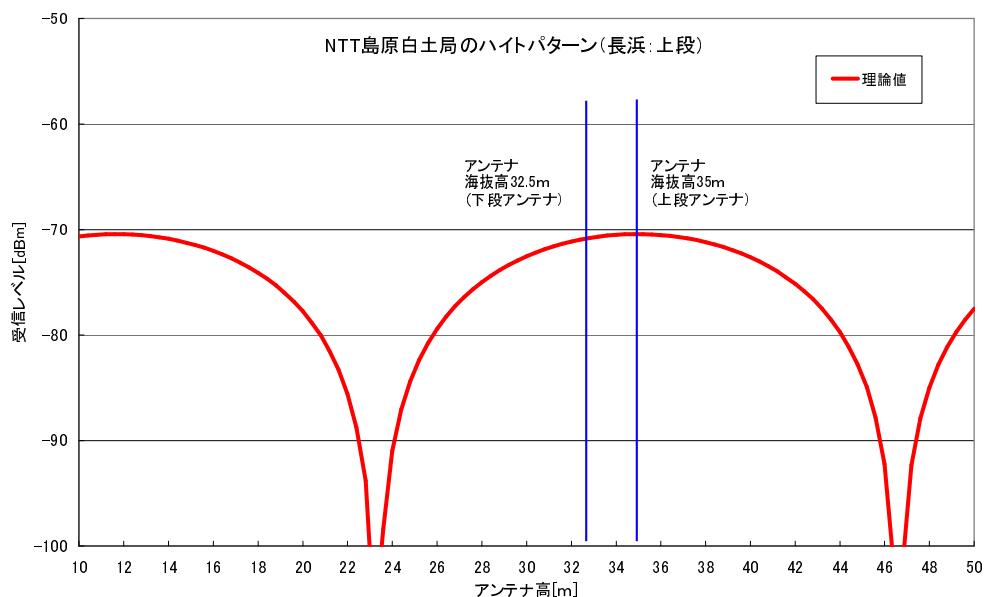


図 2.2.3 NTT 島原白土局のハイトパターン（肥後長浜局上段アンテナ）

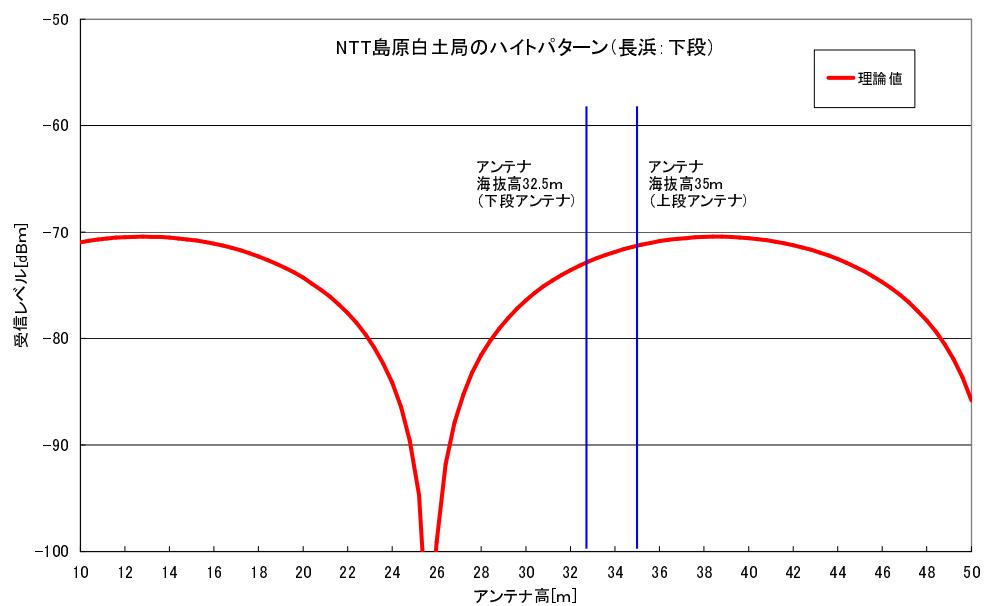


図 2.2.4 NTT 島原白土局のハイトパターン（肥後長浜局下段アンテナ）

2.3 反射波干渉伝搬路

NTT 島原白土局～肥後長浜局間の 20.4 kmをハイトパターンから想定したアンテナの設置高から反射点の計算を行った。入射接地角と反射接地角が等しいと仮定して、

図 2.3.1 反射点を求めるための概念図を元に求めた各拠点からの反射点までの距離は、

上段アンテナ-上段アンテナ：肥後長浜局の沖合 $d_1=$ 約 8.85 km

(NTT 島原白土局の沖合 $d_2=$ 約 11.55 km)

下段アンテナ-下段アンテナ：肥後長浜局の沖合 $d_1=$ 約 8.73 km

(NTT 島原白土局の沖合 $d_2=$ 約 11.67 km)

となった。

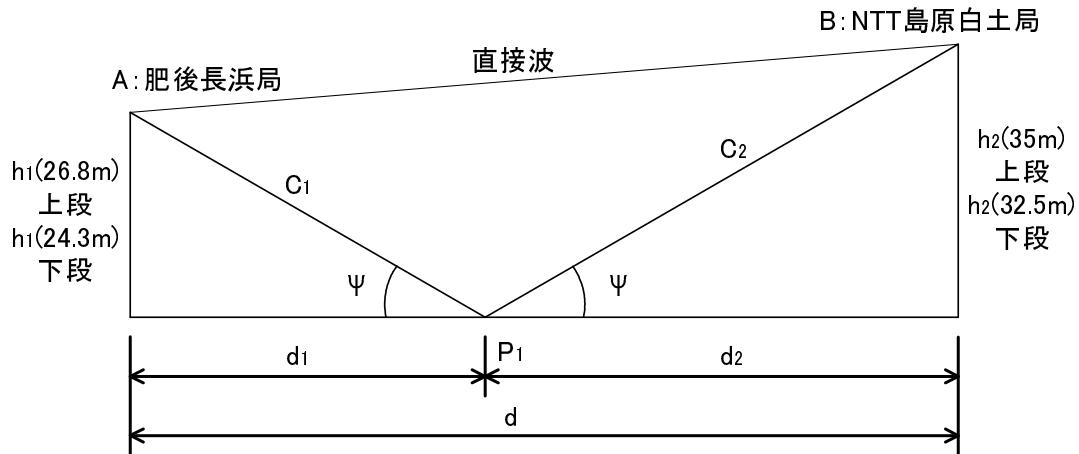


図 2.3.1 反射点を求めるための概念図

図の C_1 と C_2 が反射波干渉伝搬路である。

反射点は海上の 1 面だけになり、しかも水面の反射率が高いので、フェージングによる受信レベル(RSSI)の落ち込みが大きくなる。

なお、潮位の変動により、アンテナ高の高さが変動するため、反射点も変動する。

2.4 見通し図

肥後長浜局と NTT 島原白土局のアンテナ間を線で結び、その区間の地形断面（等高線）

と 1 次フレネルゾーンを示した図を見通し図という。

肥後長浜局の上段アンテナのときの見通し図を図 2.4.1 に、中段アンテナのときの見通し図を図 2.4.2 に示す。

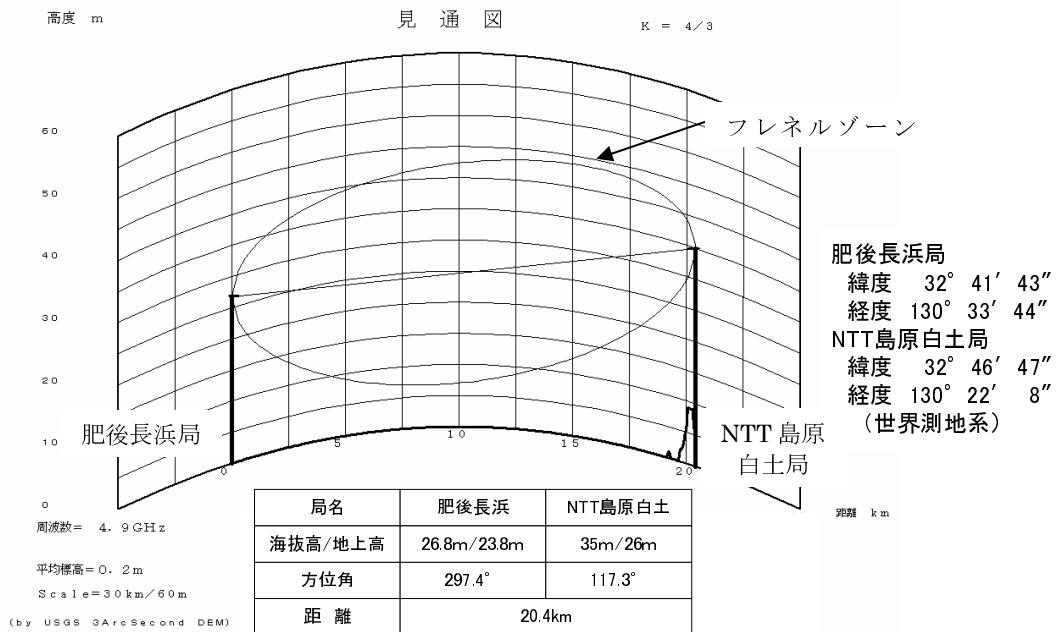


図 2.4.1 肥後長浜局↔NTT 島原白土局 見通し図（肥後長浜局上段アンテナ）

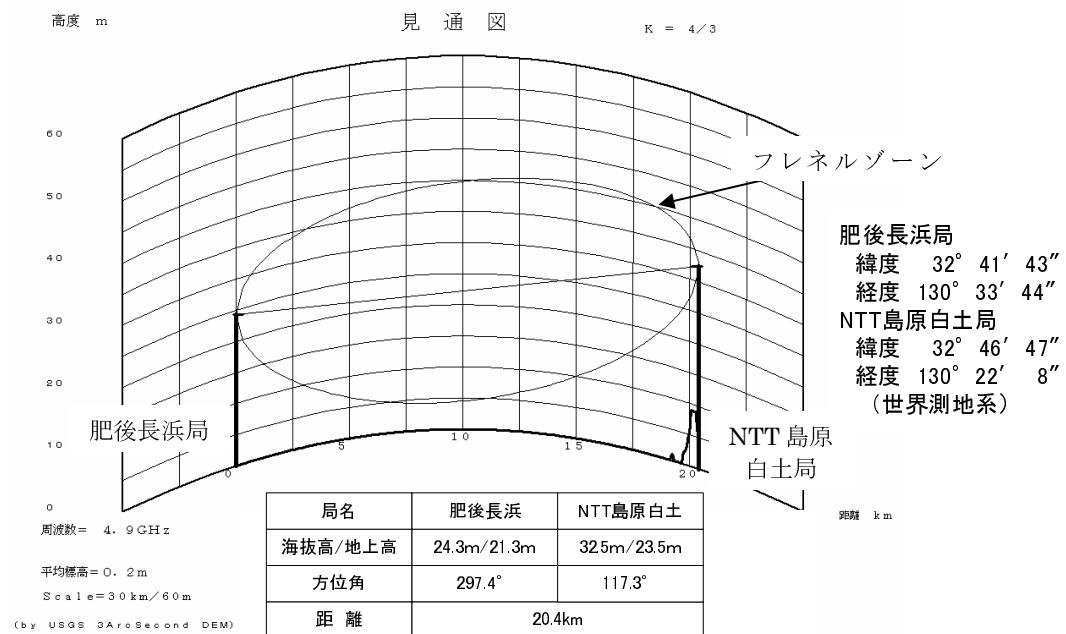


図 2.4.2 肥後長浜局↔NTT 島原白土局 見通し図（肥後長浜局中段アンテナ）

図に示すように、肥後長浜局と NTT 島原白土局間に障害物はなく、見通しがきく状態である。

電波が伝搬するためには、波長に比べてある程度の大きさの空間が必要である。その空間を表すものが図中のフレネルゾーンである。

フレネルゾーンの概念を図 2.4.3 に示すとおりで、 n 次フレネルゾーンの半径は次式で表される。

$$r_n = (n \lambda d_1 d_2 / (d_1 + d_2))^{1/2}$$

λ : 波長 [m]

n が整数のとき、例えば $n=1$ のときは 1 次フレネルゾーン、 $n=2$ のときは 2 次フレネルゾーンという。2 次以上のときは断面がドーナツ状になる。

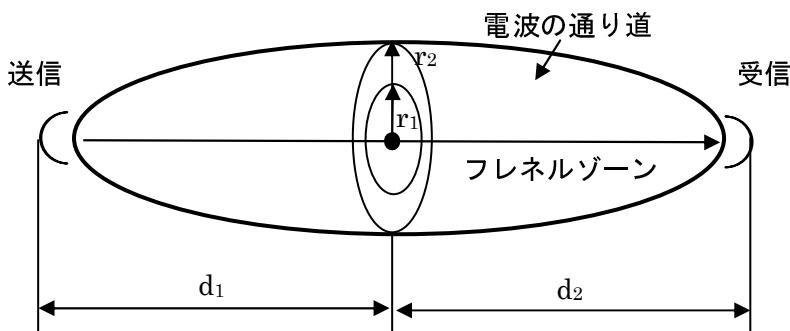


図 2.4.3 フレネルゾーンの概念図

電波のエネルギーの大部分は 1 次フレネルゾーン内にあり、障害物が 1 次フレネルゾーンを遮らない条件であれば、概ね自由空間として扱える。

今回の試験区間 20.4 km における 5GHz 帯の 1 次フレネルゾーンの半径は、中間地点で最大約 17.67m である。

図 2.4.1、図 2.4.2 にしめしたように、フレネルゾーンが地形に覆われる場所はない。ただし、下段アンテナのときのフレネルゾーンと海面の間は、4m程度しかないため、大型船舶が通過するときや、高潮のときにフレネルゾーンが一部掛かる可能性はある。

2.5 受信電力

図 2.5.1 に回線構成のモデルを、表 2.5.1 に受信電力の計算結果を示す。



図 2.5.1 回線構成モデル

表 2.5.1 受信電力計算結果

項目	円偏波 ⇄ 円偏波	円偏波 ⇄ 直線偏波
区間	肥後長浜局 ⇄ NTT 島原白土局	
区間距離	20.4km	20.4km
送信出力	15dBm 以下	15dBm 以下
ケーブル損失 (送信側)	2dB	2dB
空中線利得 (送信側)	24dBi	24dBi
空間損失	132.44dB	132.44dB
空中線利得 (受信側)	24dBi	24dBi
偏波面損失	0dB	3dB
ケーブル損失 (受信側)	2dB	2dB
予想受信電力	-73.44dBm	-76.44dBm

予想受信電力は、-73.44dBm である。

ただし、円偏波 ⇄ 水平偏波/垂直偏波のときは、3dB 損失があるため、予想受信電力は、-76.44dBm である。

※無線設備規則第 49 条の 21 より抜粋

「送信装置の空中線は、次の条件に適合すること。

絶対利得は、一三デシベル以下であること。ただし、等価等方輻射電力が絶対利得一三デシベルの送信空中線に二五〇ミリワットの空中線電力を加えたときの値以下となるときは、その低下分を送信空中線の利得で補うことができる。」

2.6 アンテナの技術特性

使用するアンテナの主な特徴は、

- ① パラボラ反射鏡に同軸形一次放射器を配置することにより高利得化している。
- ② 一次放射器を交換することにより、直線偏波と円偏波を切替えることができる。
- ③ 取付金具の設定により、伏仰角・方位角を調整できる。

表 2.8.1 にパラボラアンテナの仕様を、図 2.6.1 にアンテナの外観を示す。

表 2.6.1 パラボラアンテナ諸元

項目	性能
使用周波数	4,900~5,000MHz
偏波面	右旋円偏波又は直線偏波 (一次放射器の交換による)
VSWR	1.50 以下
利得	24 dBi
軸比	3.5 dB 以下 (円偏波の場合)
半值角	約 7° ~8°
アンテナ外形寸法	約 640×640×300mm
重量	アンテナ本体 : 約 4.5kg 取付金具 : 約 3.5kg (100A 相当に取付可能)



図 2.6.1 アンテナの外観

2.7 最大伝送速度

5GHz 帯無線アクセスシステムの回線設計は、次のとおりである。

表 2.7.1 5GHz 帯無線アクセスシステムの公称速度 (*1) と受信感度 (*2) を示す。

表 2.7.1 5GHz 帯無線アクセスシステムの公称速度 (*1) と受信感度 (*2)

規格	IEEE802.11j (標準規格値)							
	6	9	12	18	24	36	48	54
公称速度 (*1) (Mbps)	6	9	12	18	24	36	48	54
受信感度 (*2) (dBm)	-82	-81	-79	-77	-74	-70	-66	-65
変調方式	BPSK	QPSK			16QAM		64QAM	

(PER=10% ⇌ BER=10E-5)

- ① 円偏波スペースダイバーシティ方式（円偏波 ⇌ 円偏波）のとき受信電力約-73dBm であるため、公称速度は、**24Mbps** である。
- ② 偏波ダイバーシティ方式（円偏波 ⇌ 垂直偏波/水平偏波）のとき受信電力約-76dBm であるため、公称速度は、**18Mbps** である。

*1 公称速度：無線 LAN 規格における理論上の最大の通信速度である。実際のデータ転送速度を示す実効速度（スループット）とは異なる。実効速度は、概ね半分程度である。

*2 受信感度：適当な所要 BER を想定したときに、実現するのに必要な最小受信入力電力をいう。実測感度は規格受信感度より数 dB 高いのが一般的であるが、回線設計に際しては規格受信感度を採用し、実測感度との差はマージンとして確保する。

2.8 スペースダイバーシティ、偏波ダイバーシティの事前考察

(1) 潮位と円偏波スペースダイバーシティ方式に必要なアンテナ間離隔の相関

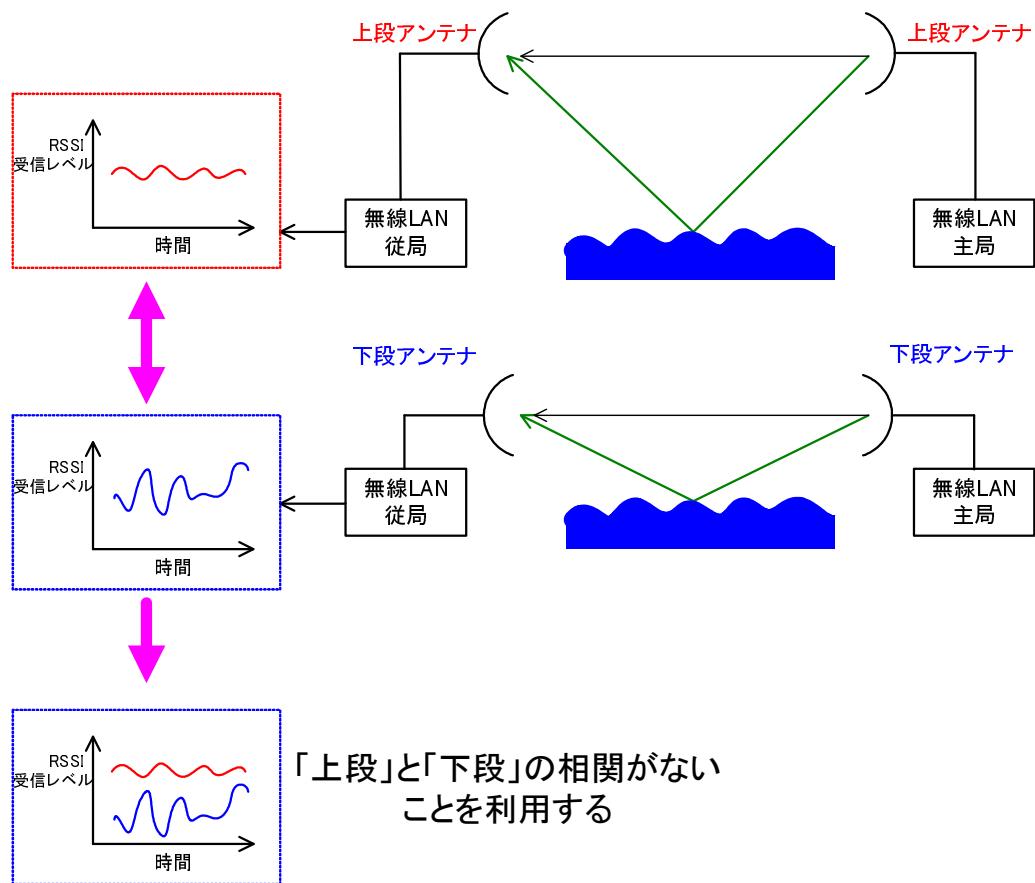


図 2.8.1 スペースダイバーシティ特性調査

主局のアンテナで送信した電波を、従局の上段及び下段のアンテナで受信した場合の受信レベル (RSSI) の時間変動を測定する。上段、上段アンテナ間の反射波と下段、下段アンテナ間の反射波の経路長の違いから、各回線の直接波との位相差が異なり、相関がない。

上段同士のアンテナを用いた回線と下段同士のアンテナを用いた回線の受信レベル (RSSI) の測定結果において、時間的な相関関係がみられない場合には、上段と下段のアンテナを使用してのスペースダイバーシティの効果を期待できると考えられる。

気象庁のホームページより、図 2.8.2 から図 2.8.5 に 7 月から 10 月の三角の潮位を示す。図より、潮位変動差は、5m 以内である。

参考 URL 気象庁 統計情報

<http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/index.php>

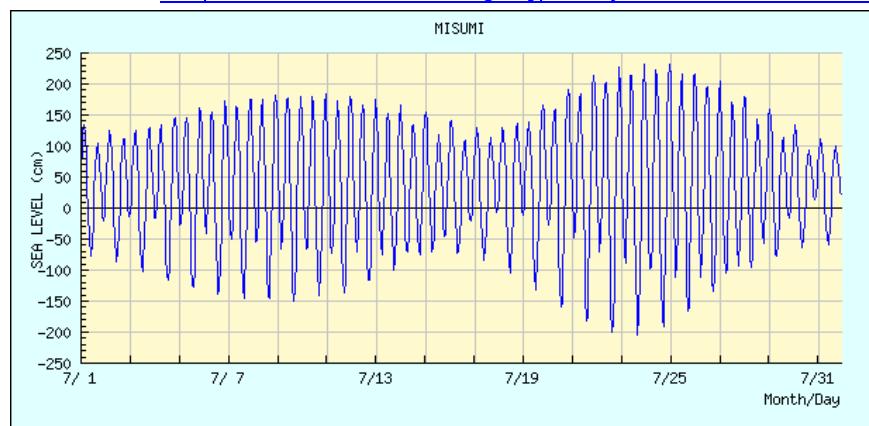


図 2.8.2 7 月の三角の潮位

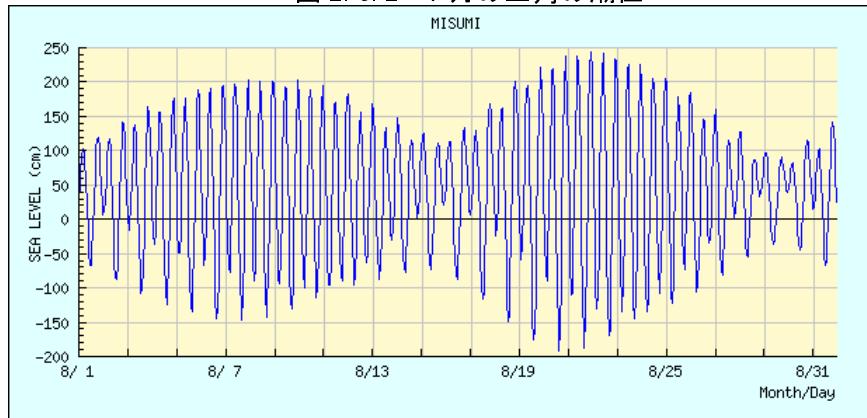


図 2.8.3 8 月の三角の潮位

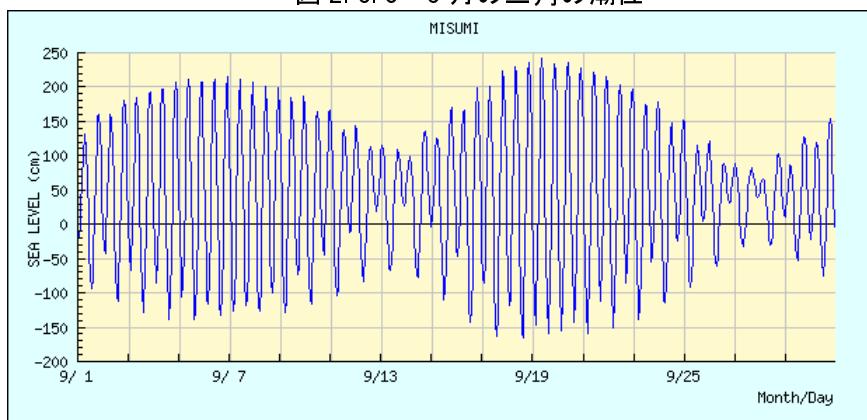


図 2.8.4 9 月の三角の潮位

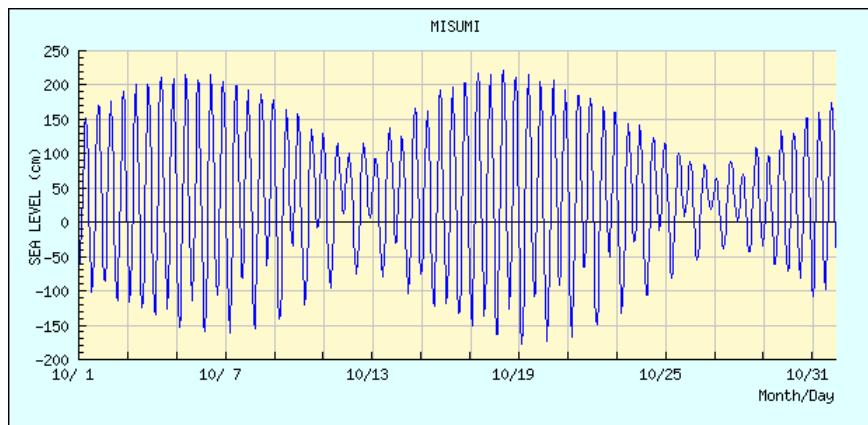


図 2.8.5 10月の三角の潮位

スペースダイバーシティ方式では、アンテナ海拔高の違うアンテナを用意し、アンテナ間の直接波と海面反射波の経路差（位相差）の違いを利用する。

ハイトパターンの計算で用いられる式は、

$$E = 2E_0 |\sin(2\pi h_1 h_2 / d\lambda)|$$

E : 受信電力（直接波と反射波の合成波）(dBm)

E_0 : 直接波の受信電力(dBm)

h_1 : 肥後長浜局のアンテナ海拔高(m)

h_2 : NTT 島原白土局のアンテナ海拔高(m)

d : 両局間の距離(m)

λ : 無線機の波長(m)

である。

上記式で、ヌルポイントの発生するための条件は、 \sin の値が 0 の時である。 \sin の値が 0 になるのは、 \sin の中の数値が $n\pi$ (n は整数) のときである。上記の式に両局の高さ以外の概略の値を代入すると、 \sin の値は、 $\sin(\pi h_1 h_2 / 600)$ になる。

一方の局のアンテナ海拔高を 20mで固定するとヌルポイント間の間隔は、30mになり、30mで固定するとヌルポイント間の間隔は、20mになり、40mで固定するとヌルポイント間の間隔は、15mとなる。

(2) 偏波ダイバーシティ特性調査

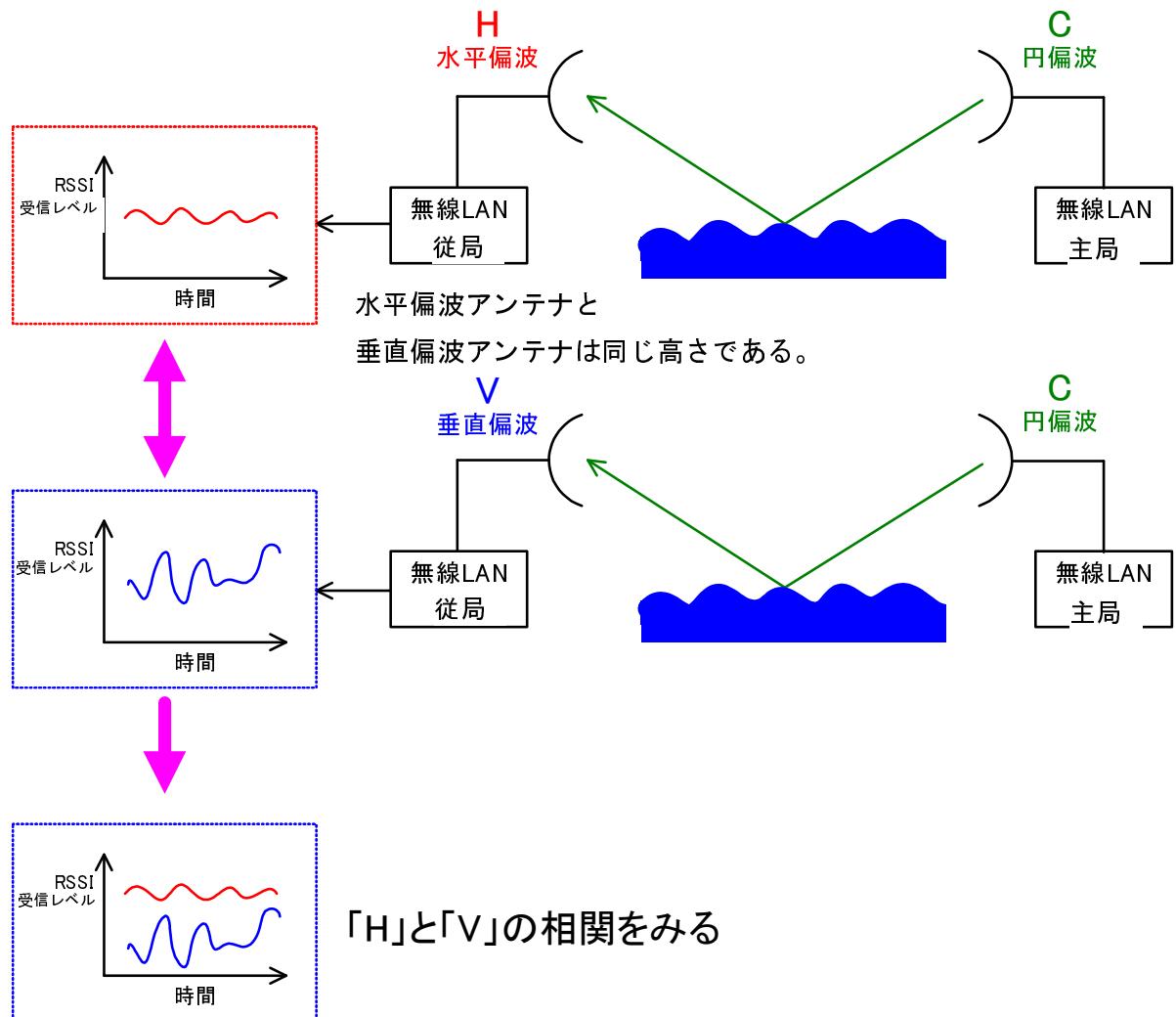


図 2.8.6 偏波ダイバーシティ特性調査

円偏波C用のアンテナで送信した電波を、水平偏波H用および垂直偏波V用のアンテナで受信した場合の受信レベル(RSSI)の時間変動を測定する。測定期間における水平偏波用および垂直偏波用のアンテナを用いた場合の受信レベル(RSSI)を比較して相関関係の有無をみる。

水平偏波用と垂直偏波用のアンテナを用いた場合の受信レベル(RSSI)の測定結果において、時間的な相関関係がみられない場合には、水平偏波用と垂直偏波用のアンテナを使用しての偏波ダイバーシティの効果を期待することができると考えられる。

なお、円偏波の電波を水平偏波用もしくは、垂直偏波用のアンテナで受信した場合には、円偏波用のアンテナで受信した場合と比べて受信レベル(RSSI)が3dB低下する。

2.9 降雨減衰

図 2.9.1 に周波数と 1km当たりの降雨減衰量を示す。また、表 2.9.1 に雨の強さと降り方の目安を示す。

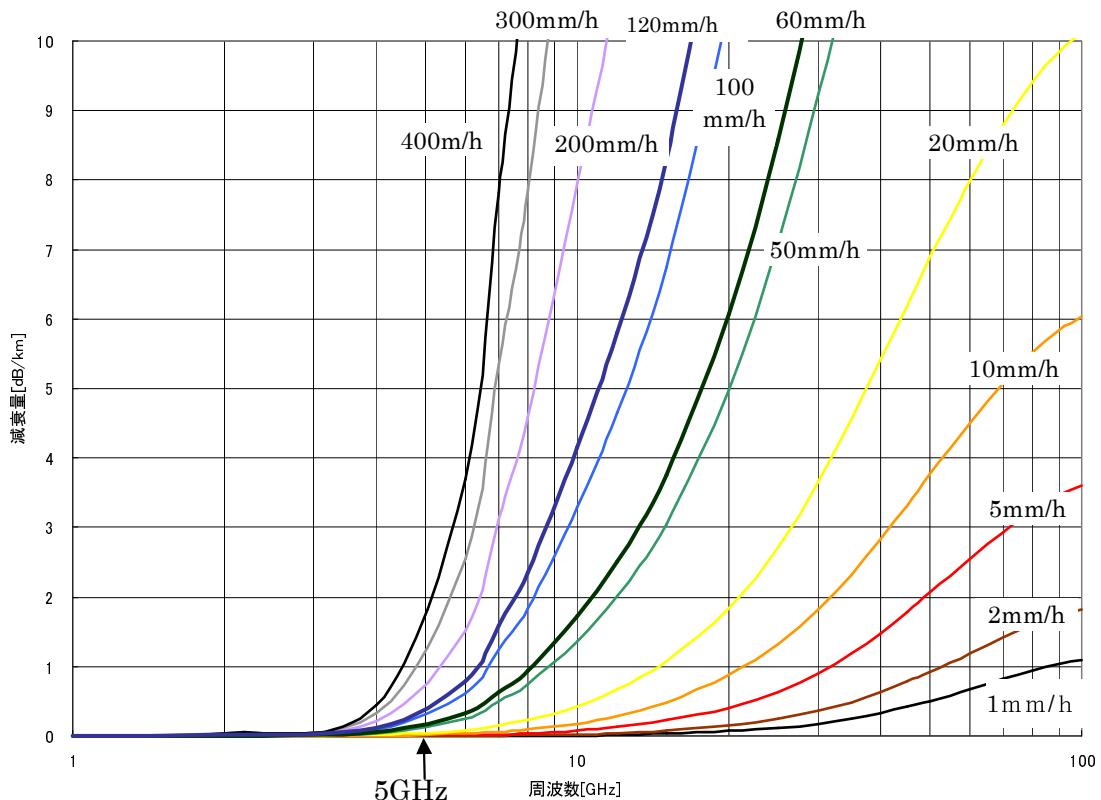


図 2.9.1 周波数と 1km当たりの降雨減衰量

図より、本試験で使用する 5GHz 帯では、時間雨量 20mm程度の雨では、無視できる。ただし、本試験区間が 20km と長距離のため、60mm程度の降雨では、影響が考えられる。

降雨減衰量のグラフより、本試験に使用する 5GHz 帯距離 20km において

- ① 試験区間全体で時間雨量 60mmの降雨があった場合、2dB 程度の降雨減衰が見込まれる。
- ② 試験区間全体で時間雨量 120mmの降雨があった場合、12dB 程度の降雨減衰が見込まれる。

第3章 電波伝搬試験概要

3.1 アンテナ高の変更

3.1.1 変更内容

第2章の回線設計でアンテナ高は、
肥後長浜局 26.8mと24.3m
NTT島原白土局 35mと32.5m

と決定した。

しかし、アンテナを取り付けるための金具の設置位置や無線機とアンテナ間のケーブル長の制限などの影響及び、実用的なアンテナ間離隔の4mを考慮し、

肥後長浜局 22.3mと18.3m
NTT島原白土局 35mと30.7m

のアンテナ高で測定試験を開始した。

試験開始の結果、海面でフレネルゾーンが欠ける影響もあり、NTT島原白土局の下段アンテナの受信レベル(RSSI)は常に低く、有効なデータ収集ができなかった。そのため、フレネルゾーンを確保するために、上方向に余裕のある肥後長浜局の26.3m地点に、NTT島原白土局の下段アンテナを移設した。

本試験で用いたアンテナ高は、
肥後長浜局 26.3m、22.3m、18.3m
NTT島原白土局 35m

とした。

最終的に、肥後長浜局は、上段、中段、下段の3種類の高さを準備、NTT島原白土局は、上段のみを準備した。新たに10mのアンテナケーブルを作成し、肥後長浜局の上段、下段の8mの離隔調査と上段、中段の4mの離隔調査を行えるようした。



図3.1.1 肥後長浜局アンテナ高



図3.1.2 NTT島原白土局アンテナ高

3.1.2 変更後の回線設計

第2章の回線設計の中で、肥後長浜局のアンテナ追加、及び、アンテナ高の変更に伴い、回線諸元の変更のある部分について、再度回線設計を行う。

(1) ハイトパターン

アンテナ高変更に伴い、ハイトパターンも変化する。図3.1.3に肥後長浜局のハイトパターン（相手局上段アンテナ）を示す。

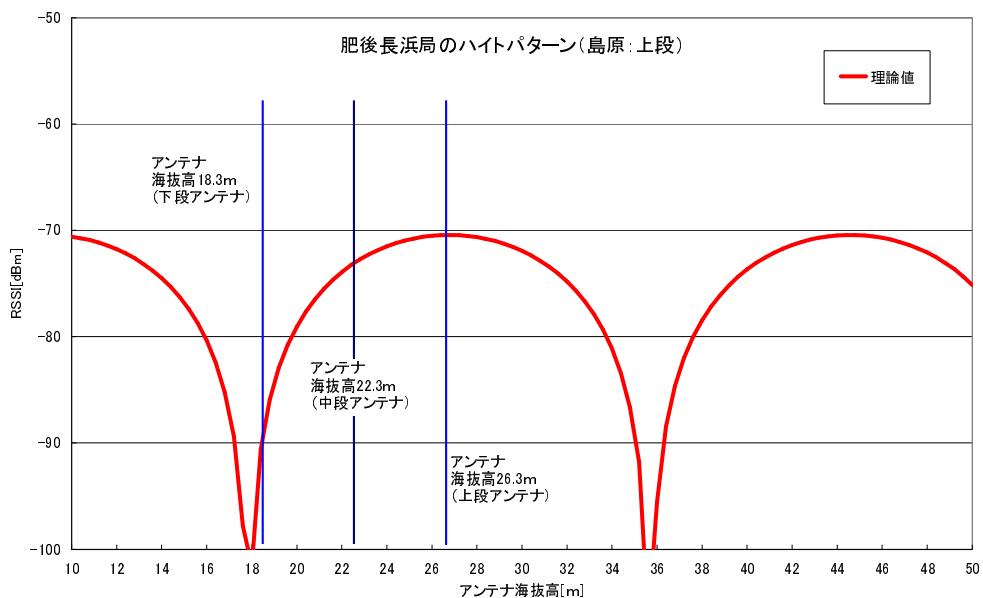


図3.1.3 肥後長浜局のハイトパターン（相手局上段アンテナ）

図3.1.4から図3.1.6にNTT島原白土局のハイトパターン（相手局上段アンテナ、中段アンテナ、下段アンテナ）を示す。

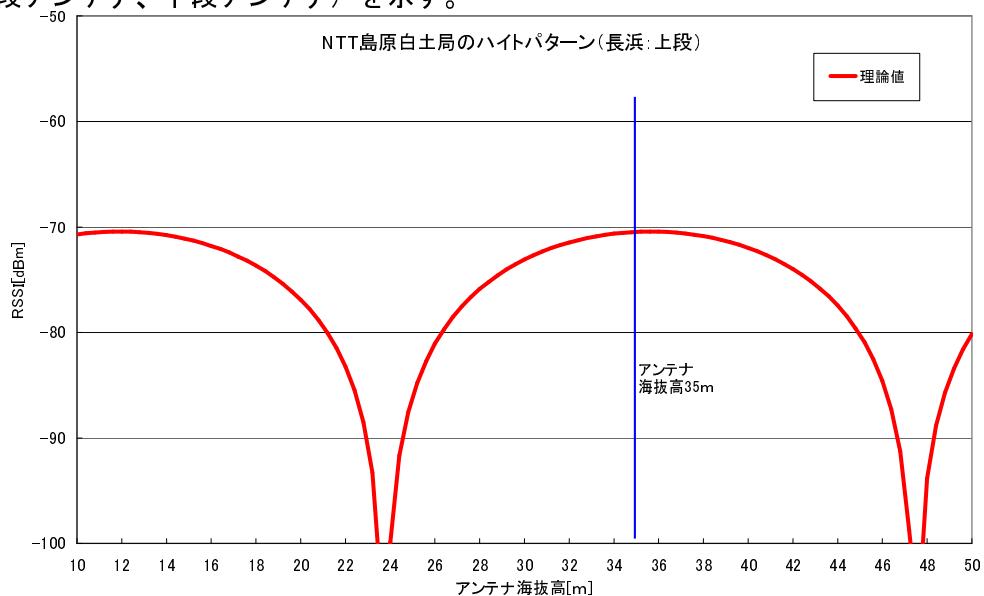


図3.1.4 NTT島原白土局のハイトパターン（相手局上段アンテナ）

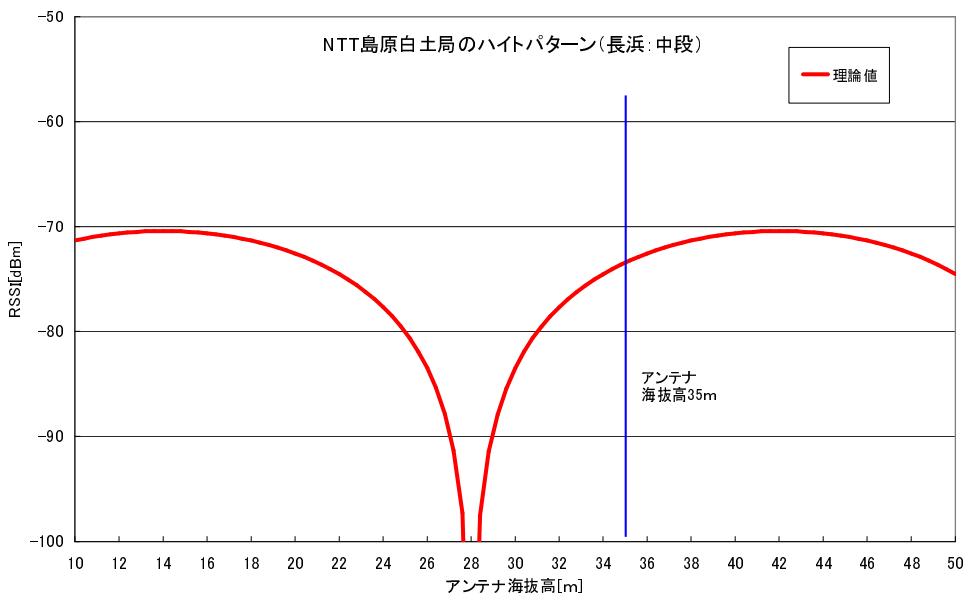


図 3.1.5 NTT 島原白土局のハイトパターン（相手局中段アンテナ）

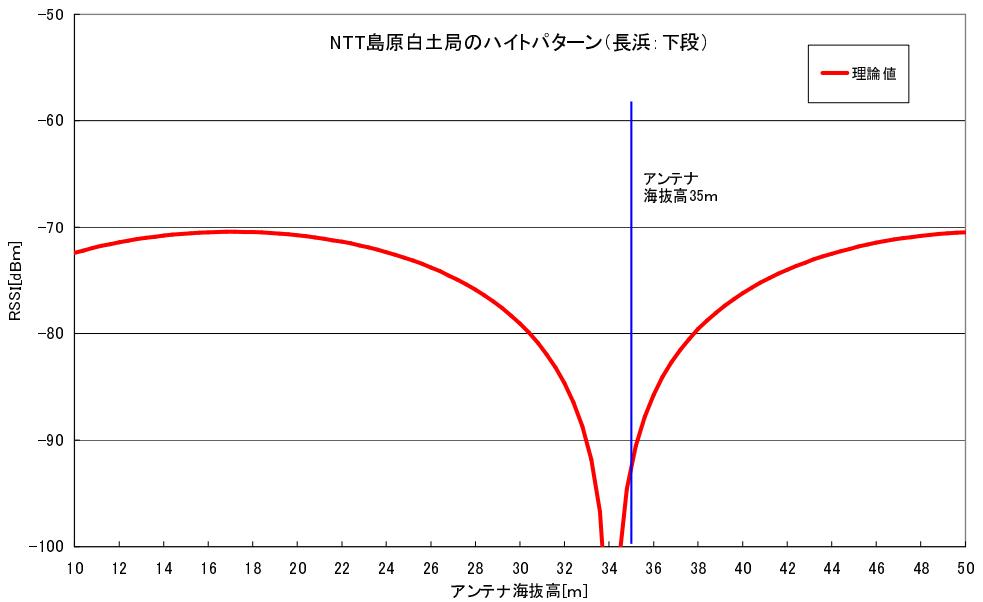


図 3.1.6 NTT 島原白土局のハイトパターン（相手局下段アンテナ）

(2) 反射波干渉伝搬路

アンテナ高変更に伴い、反射点の位置も変化する。図 3.1.7 反射点を求めるための概念図を元に求めた各拠点からの反射点までの距離は、

上段アンテナ：肥後長浜局の沖合 $d_1=$ 約 8.75 km

(NTT 島原白土局の沖合 $d_2=$ 約 11.65 km)

中段アンテナ：肥後長浜局の沖合 $d_1=$ 約 7.94 km

(NTT 島原白土局の沖合 $d_2=$ 約 12.46 km)

下段アンテナ：肥後長浜局の沖合 $d_1=$ 約 7.00 km

(NTT 島原白土局の沖合 $d_2=$ 約 13.40 km)

となつた。

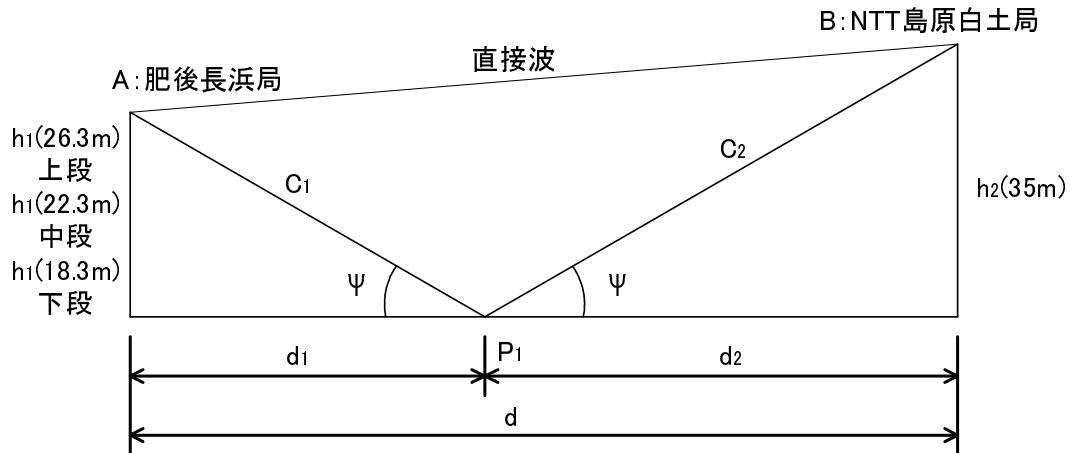


図 3.1.7 反射点を求めるための概念図

(3) 見通し図

肥後長浜局の上段アンテナのときの見通し図を図 3.1.8 に、中段アンテナのときの見通し図を図 3.1.9 に、下段アンテナのときの見通し図を図 3.1.10 に示す。

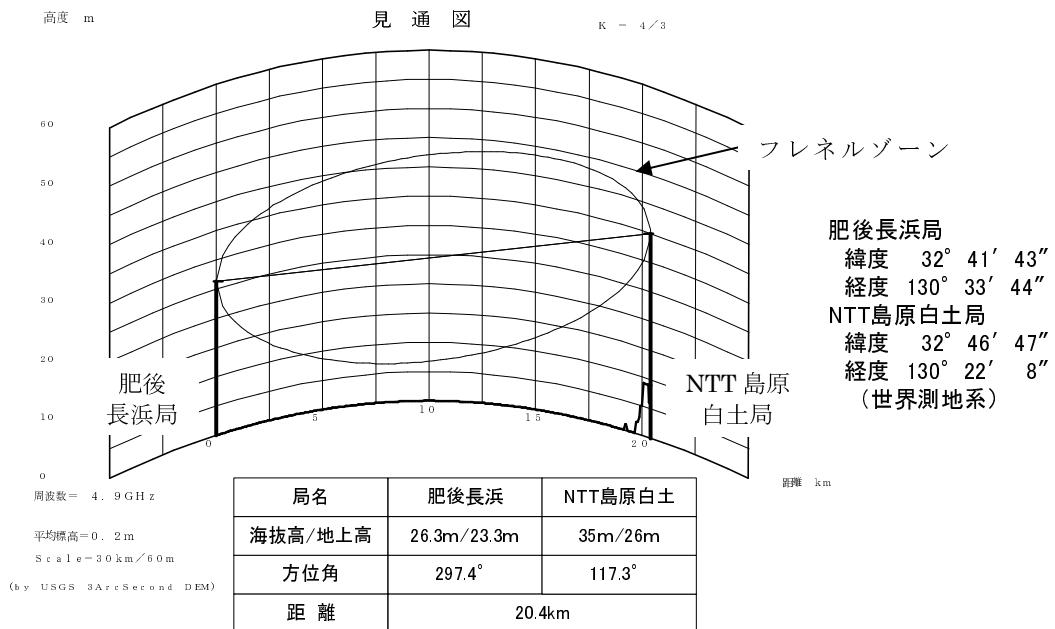


図 3.1.8 肥後長浜局↔NTT 島原白土局 見通し図（肥後長浜局上段アンテナ）

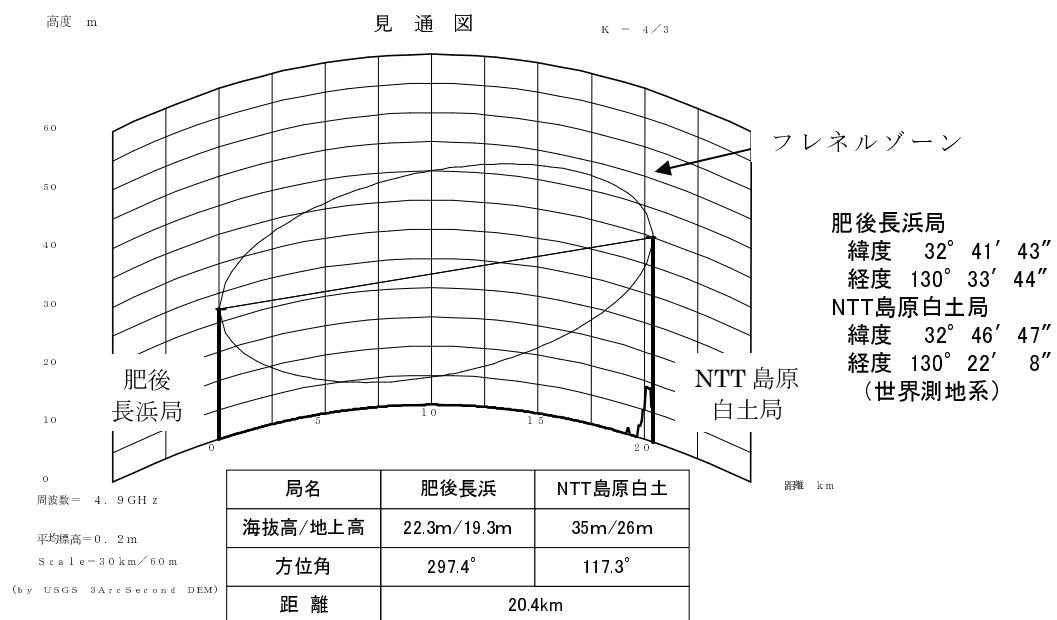


図 3.1.9 肥後長浜局↔NTT 島原白土局 見通し図（肥後長浜局中段アンテナ）

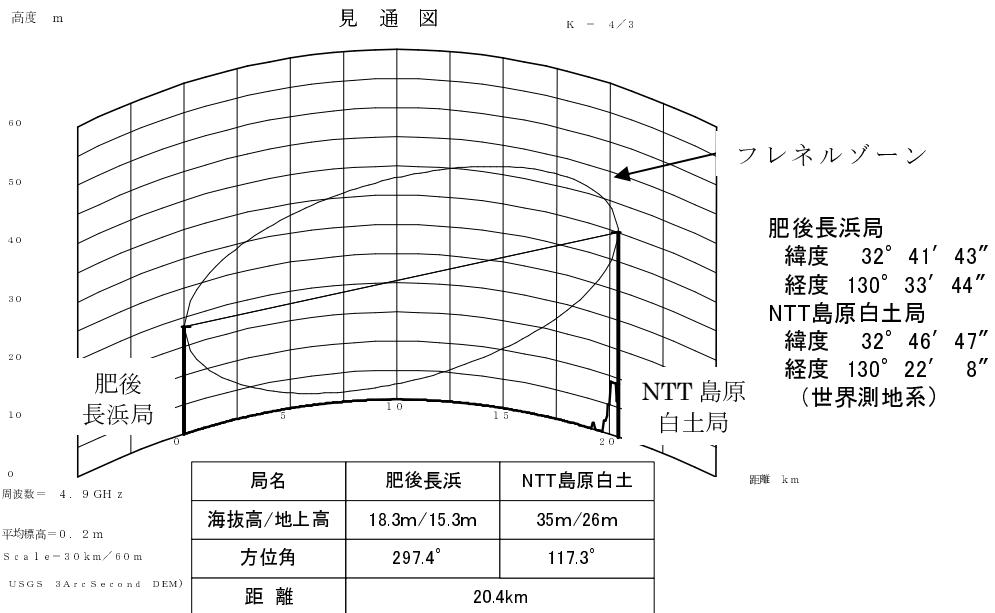


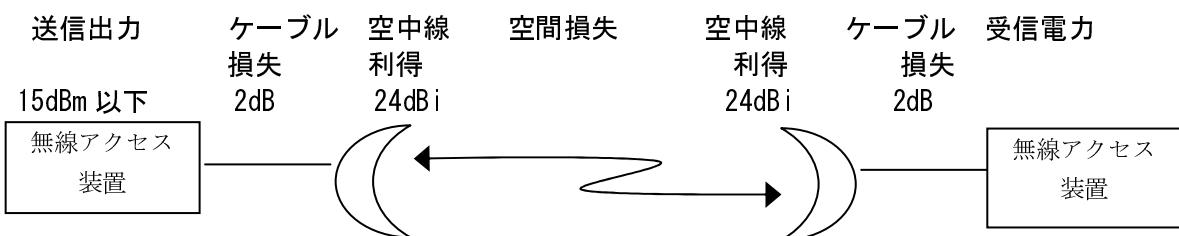
図 3.1.10 肥後長浜局 ⇄ NTT 島原白土局 見通し図（肥後長浜下段アンテナ）

フレネルゾーンの半径は、距離の変更がないため、中間地点で最大約 17.67m である。図に示したように、フレネルゾーンが地形に覆われる場所はない。ただし、下段アンテナのときのフレネルゾーンと海面の間は、2m程度しかないため、大型船舶が通過するときや高潮のときにフレネルゾーンが一部掛かる可能性はある。

(4) 受信電力

肥後長浜局で、上段アンテナと下段アンテナの両アンテナを使用した場合、アンテナ間離隔が8mとなり、回線設計で用いた3.5mのアンテナケーブル（ケーブル損失2dB）では物理的に短いため、10mのアンテナケーブル（ケーブル損失2.2dB）を使用した。ケーブル損失を考慮して、受信電力を再計算する。

図3.1.11に回線構成のモデルを、表3.1.1にRSSI計算結果を示す。



※下段アンテナ使用時ケーブル損失 2.2dB

図3.1.11 回線構成モデル

表3.1.1 受信電力計算結果

項目	円偏波↔円偏波	肥後長浜局 下段アンテナ使用時 円偏波↔円偏波
区間	肥後長浜局↔NTT島原白土局	
区間距離	20.4km	20.4km
送信出力	15dBm 以下	15dBm 以下
ケーブル損失（送信側）	2dB	2.2dB
空中線利得（送信側）	24dBi	24dBi
空間損失	132.44dB	132.44dB
空中線利得（受信側）	24dBi	24dBi
偏波面損失	0dB	0dB
ケーブル損失（受信側）	2dB	2dB
回線設計受信電力値	-73.44dBm	-73.64dBm

肥後長浜局下段アンテナ使用時は、肥後長浜局のケーブル損失が2.2dBと0.2dB増えるため、回線設計の受信電力の値は、-73.64dBmである。

表3.1.2に5GHz帯無線アクセスシステムの公称速度(*1)と受信感度(*2)を示す。

- ① 円偏波スペースダイバーシティ方式（円偏波↔円偏波）のとき受信電力約-73dBmであるため、公称速度は、**24Mbps**である。
- ② 偏波ダイバーシティ方式（円偏波↔垂直偏波/水平偏波）のとき受信電力約-76dBmであるため、公称速度は、**18Mbps**である。

表 3.1.2 5GHz 帯無線アクセスシステムの公称速度 (*1) と受信感度 (*2)

規格	IEEE802.11j (標準規格値)							
公称速度 (*1) (Mbps)	6	9	12	18	24	36	48	54
受信感度 (*2) (dBm)	-82	-81	-79	-77	-74	-70	-66	-65
変調方式	BPSK		QPSK		16QAM		64QAM	

(PER=10% ⇌ BER=10E-5)

*1 公称速度：無線 LAN 規格における理論上の最大の通信速度である。実際のデータ転送速度を示す実効速度（スループット）とは異なる。実効速度は、概ね半分程度である。

*2 受信感度：適当な所要 BER を想定したときに、実現するのに必要な最小受信入力電力をいう。実測感度は規格受信感度より数 dB 高いのが一般的であるが、回線設計に際しては規格受信感度を採用し、実測感度との差はマージンとして確保する。

そのため、本試験では、公称速度を 18Mbps (QPSK) として行う。

3.2 長距離海上電波伝搬特性評価試験

3.2.1 気象・海象条件下での電波伝搬特性評価試験

(1) 概要

各気象・海象条件と RSSI を比較し、長距離海上電波伝搬特性での影響を調査する。

(2) 測定方法

試験構成図を図 3.2.1 に示す。

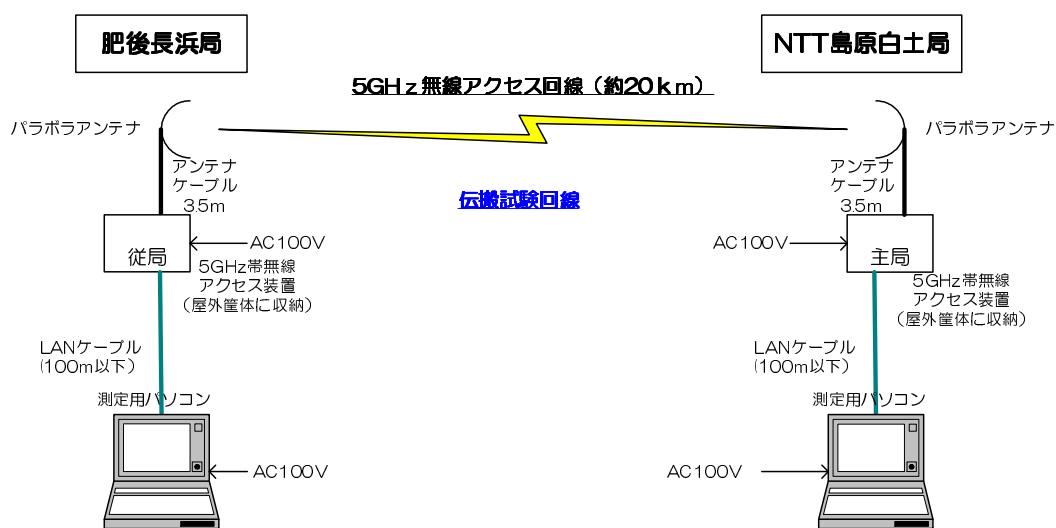


図 3.2.1 気象・海象条件下での電波伝搬特性評価試験構成図

このとき、主局側に接続した測定用パソコンで、受信レベル、通信レート、パケットエラー率を測定し、従局側に接続した測定用パソコンで、RSSI を測定した。

表 3.2.1 に機器構成を、表 3.2.2 に仕様を示す。

表 3.2.1 機器構成

No.	項目	型名	メーカー	数量	備考
1	5GHz 帯無線アクセス装置	JRL-749AP1 JRL-749ST1	日本無線	2 台	
2	パラボラアンテナ	06AA-050RNCA	日本電業工作	4 基	円偏波
3	パラボラアンテナ	06AA-050SNCA	日本電業工作	1 基	垂直偏波
4	パラボラアンテナ	06AA-050SNCA	日本電業工作	1 基	水平偏波
5	アンテナケーブル			4 本	3.5m
6	アンテナケーブル			2 本	10m
7	パソコン			3 台	測定用



図 3.2.2 肥後長浜局無線機



図 3.2.3 NTT 島原白土局無線機

表 3.2.2 仕様

No.	項目	仕様
1	5GHz 帯無線アクセス装置	
-1	周波数	5GHz 帯 (4.9~5.0GHz)
-2	伝送容量	6/7/12/18/24/36/48/54Mbps
-3	変調方式	OFDM
-4	送信出力	20mW 以下
-5	アンテナ端子	2 個
-6	インターフェース	Ethernet (10/100BASE-T)
-7	その他	無線規格 : IEEE802.11j 準拠
2	パラボラアンテナ	
-1	アンテナ利得	24.0dBi
-2	半值角	約 7° ~8°
3	アンテナケーブル	
-1	ケーブル長	3.5m/10m
-2	ケーブル損失	2dB/2.2dB

※本電波伝搬試験は、実験試験局免許を取得して行った。

また、表 3.2.3 に調査した気象条件を示す。

表 3.2.3 調査した気象条件

気象条件	長浜	島原
潮位	気象庁HP（三角）	—
降雨	気象庁HP（三角）、 雨量計（肥後長浜局）	気象庁HP（島原）、 雨量計（NTT 島原白土局）
気温	気象庁HP（三角）	気象庁HP（島原）
海水温	熊本県水産研究センター（長浜）	—
風速	気象庁HP（三角）	気象庁HP（島原）
天候	気象庁HP（熊本）	—
視程	気象庁HP（熊本）	—
海面状況	カメラ（肥後長浜局）	カメラ（NTT 島原白土局）

参考 URL

気象庁 統計情報

<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

<http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/index.php>

熊本県水産研究センター 自動海況観測

<http://www.nanotech.co.jp/kumamotoAds/login.html>

ここで、海面状況は、ネットワークカメラを用いて、随時観測した。ネットワークカメラの構成図を図 3.2.4 に示す。また、ネットワークカメラの機器構成を表 3.2.4 に示し、仕様を表 3.2.5 に示す。

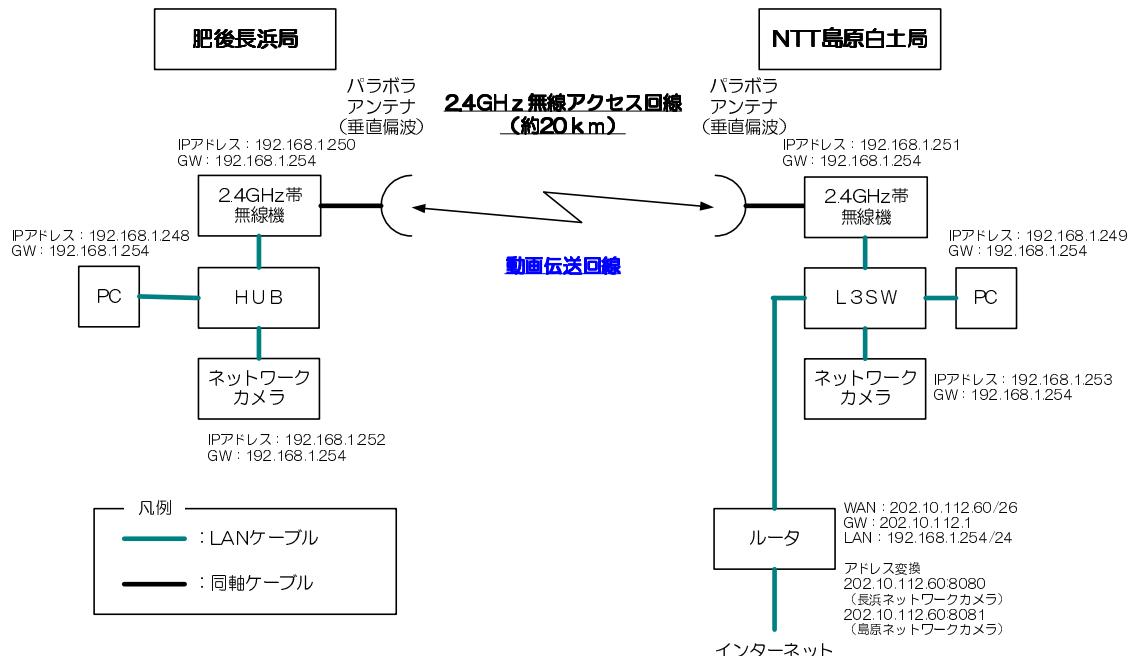


図 3.2.4 ネットワークカメラシステムの構成図



図 3.2.5 肥後長浜局ネットワークカメラ 図 3.2.6 NTT 島原白土局ネットワークカメラ

表 3.2.4 ネットワークカメラシステムの機器構成

No.	項目	型名	メーカー	数量	備考
1	ネットワークカメラ	BB-HCM581	パナソニック	2	
2	HUB			1	
3	L3SW			1	
4	2.4GHz 帯無線アクセス装置	JRL-710AL2	日本無線	2	
5	パラボラアンテナ	NZA-666	日本無線	2	垂直偏波
6	アンテナケーブル			2	3.5m
7	パソコン			1	画像用

表 3.2.5 仕様

No.	項目	仕様
1	ネットワークカメラ	
-1	形態	ウェブサーバー機能内蔵タイプネットワークカメラ
-2	画像圧縮	MPEG-4
-3	機能	ズーム機能、広角度パン・チルド
-4	ズーム	12段階 42倍ズーム
-5	画素数	約 32 万画素
2	L3SW	
-1	ポート数	10/100/1000BASE-T × 24 ポート
-2	仕様	以下をサポート OSPF/BGP, マルチキャスト, IPv6, MAC VLAN, STP, リングプロトコル, QoS, GSRP, リンクアグリゲーション, IEEE802.1X 認証, Web 認証, MAC 認証, 検疫連携, OAN, sFlow, コマンド保守
3	2.4GHz 帯無線アクセス装置	
-1	周波数帯	2.4GHz 帯 (2.400~2.483GHz)
-2	伝送容量	1/2/5.5/6/9/11/12/18/24/36/48/54Mbps
-3	変調方式	OFDM: BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM DSSS: CCK, QPSK, BPSK
-4	送信出力	1mW/MHz (最大)



図 3.2.7 ネットワークカメラ画面



図 3.2.8 肥後長浜局動画伝送用アンテナ



図 3.2.9 NTT 島原白土局動画伝送用アンテナ

(3) 測定データ

試験期間①から⑯の気象・海象条件下での電波伝搬特性に関するデータ測定結果を表3.2.7から表3.2.19に示す。なお、試験期間と試験構成の一覧表を表3.2.6に示す。測定データは別冊に示す。

表3.2.6 気象・海象条件下での電波伝搬特性評価の試験期間と試験構成一覧表

試験番号	期間	測定方法	主局	無線機	アンテナ		従局	無線機	アンテナ	
					位置	偏波面			位置	偏波面
①	7/1-7/6	送受信 RSSI (中段) 測定	長浜	1	中段	円	島原	2	上段 下段	円 円
②	7/7-7/13	送受信 RSSI (下段) 測定	長浜	1	下段	円	島原	2	上段 下段	円 円
③	7/14-7/21	送受信 S D 測定	長浜	1	中段 下段	円 円	島原	1	上段 下段	円 円
④	7/24-7/31	送受信 S D 測定	長浜	1	上段 中段	円 円	島原	1	上段 下段	円 円
⑤	8/2-8/8	送受信 RSSI (上段) 測定	長浜	1	上段	円	島原	2	上段 下段	円 円
⑥	8/9-8/17	送受信 RSSI (上段、 中段) 測定	島原	1	上段	円	長浜	2	上段 中段	円 円
⑦	8/18-8/30	送受信 RSSI (上段、 下段) 測定	島原	1	上段	円	長浜	2	上段 下段	円 円
⑧	9/1-9/16	送受信 RSSI (上段、 中段) 測定	島原	1	上段	円	長浜	2	上段 中段	円 円
⑨	9/19-9/23	偏波ダイバーシティ 測定	島原	1	上段	円	長浜	2	上段	垂直 水平
⑩	9/25-9/27	偏波ダイバーシティ (円 偏波、水平偏波) 測定	島原	1	上段	円	長浜	2	上段	円 水平
⑪	9/28-9/29	偏波ダイバーシティ (円 偏波、垂直偏波) 測定	島原	1	上段	円	長浜	2	上段	円 垂直
⑫	9/29-10/6	偏波ダイバーシティ 測定 (予備試験)	島原	1	上段	垂直	長浜	2	上段	垂直 円
⑬	10/7-10/12	1 対向 (垂直偏波) 測定	島原	1	上段	垂直	長浜	1	上段	垂直
⑭	10/15-10/19	受信 S D 測定	島原	1	上段	円	長浜	2	上段 中段	円 円
⑮	10/23-10/28	1 対向 (水平偏波) 測定	島原	1	上段	水平	長浜	1	上段	水平

表 3.2.7 気象・海象条件下での電波伝搬特性に関するデータ測定結果（試験期間①）

日程：平成 21 年 7 月 1 日～7 月 6 日	測定データ番号：①-長浜、①-島原																								
<p style="text-align: center;">試験構成図</p>	<p>試験概要：円偏波長浜中段アンテナ ⇄ 円偏波島原上段、下段アンテナ送受信 RSSI 測定 肥後長浜局-NTT 島原白土局の回線の RSSI を測定する。 各種の気象・海象条件と比較して、相関関係を調査する。</p> <p>収集データ： 肥後長浜局 受信レベル、通信レート、パケットエラー率、各種気象データ NTT 島原白土局 RSSI、各種気象データ</p>																								
<p>測定データ：</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>時刻</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>9</th> <th>12</th> <th>15</th> <th>18</th> <th>21</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>天候</td> <td>曇</td> <td>晴</td> <td>晴</td> <td>薄雲</td> <td>晴</td> <td>晴</td> <td>晴</td> </tr> <tr> <td>視程</td> <td>5km</td> <td>5km</td> <td>15km</td> <td>15km</td> <td>15km</td> <td>15km</td> <td>15km</td> </tr> </tbody> </table>	時刻	3	6	9	12	15	18	21	天候	曇	晴	晴	薄雲	晴	晴	晴	視程	5km	5km	15km	15km	15km	15km	15km	<p>1. 期間中データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 下段アンテナ回線の RSSI は、上段アンテナ回線の RSSI より 10dB 程度低い。 潮位が 0cm 付近で、RSSI の落ち込みが見られる。 朝方 RSSI が上昇し、比較的安定している。夕方前後に RSSI の変動が激しくなる。 <p>2. 7月4日分データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 12 時から 14 時にかけては、気温が海水温より 3°C 程度高く、RSSI は安定している。しかし、16 時から 21 時にかけては RSSI が大きく変動している。 下段アンテナ回線の RSSI は、上段アンテナ回線の RSSI より 10dB 程度低い。 潮位が 0cm 付近で、RSSI の落ち込みが見られる。 朝方の RSSI が比較的安定している。
時刻	3	6	9	12	15	18	21																		
天候	曇	晴	晴	薄雲	晴	晴	晴																		
視程	5km	5km	15km	15km	15km	15km	15km																		

表 3.2.8 気象・海象条件下での電波伝搬特性に関するデータ測定結果（試験期間②）

日程：平成 21 年 7 月 7 日～7 月 13 日	測定データ番号：②-長浜、②-島原																								
<p style="text-align: center;">試験構成図</p>	<p>試験概要：円偏波長浜下段アンテナ ⇄ 円偏波島原上段、下段アンテナ送受信 RSSI 測定 肥後長浜局-NTT 島原白土局の回線の RSSI を測定する。 各種の気象・海象条件と比較して、相関関係を調査する。</p> <p>収集データ： 肥後長浜局 受信レベル、通信レート、パケットエラー率、各種気象データ NTT 島原白土局 RSSI、各種気象データ</p>																								
<p>測定データ：</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>時刻</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>9</th> <th>12</th> <th>15</th> <th>18</th> <th>21</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>天候</td> <td>霧</td> <td>薄霧</td> <td>霧</td> <td>霧</td> <td>薄霧</td> <td>薄霧</td> <td>晴</td> </tr> <tr> <td>視程</td> <td>30km</td> <td>25km</td> <td>30km</td> <td>30km</td> <td>30km</td> <td>30km</td> <td>20km</td> </tr> </tbody> </table>	時刻	3	6	9	12	15	18	21	天候	霧	薄霧	霧	霧	薄霧	薄霧	晴	視程	30km	25km	30km	30km	30km	30km	20km	<p>1. 期間中データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 下段アンテナ回線が上段アンテナ回線より、10dB 程度低い。 潮位が-50cm 程度で、RSSI の落ち込みが見られる。 朝方 RSSI が上昇し、比較的安定している。夕方前後に RSSI の変動が激しくなる。 <p>2. 7月 12 日分データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 7月 12 日は気温が海水温より 5°C 程度高いが、RSSI の変動は小さい。その間の風速が、島原で 6m、三角で 5m 程度である。 下段アンテナ回線が上段アンテナ回線より、10dB 程度低い。 潮位が-50cm 程度と 150cm 程度で RSSI の落ち込みが見られた。
時刻	3	6	9	12	15	18	21																		
天候	霧	薄霧	霧	霧	薄霧	薄霧	晴																		
視程	30km	25km	30km	30km	30km	30km	20km																		

表 3.2.9 気象・海象条件下での電波伝搬特性に関するデータ測定結果（試験期間③）

日程：平成 21 年 7 月 14 日～7 月 21 日	測定データ番号：③-長浜、③-島原																								
<p>試験構成図</p>	<p>試験概要：円偏波長浜中段、下段アンテナ ⇒円偏波島原上段、下段アンテナ送受信 S D 測定 肥後長浜局 - NTT 島原白土局の回線の RSSI を測定する。 各種の気象・海象条件と比較して、相関関係を調査する。</p> <p>収集データ： 肥後長浜局 受信レベル、通信レート、パケットエラーレート、各種気象データ NTT 島原白土局 RSSI、各種気象データ</p>																								
<p>測定データ：</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>時刻</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>9</th> <th>12</th> <th>15</th> <th>18</th> <th>21</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>天候</td> <td>晴</td> <td>晴</td> <td>霧</td> <td>晴</td> <td>霧</td> <td>晴</td> <td>晴</td> </tr> <tr> <td>視程</td> <td>25km</td> <td>25km</td> <td>20km</td> <td>25km</td> <td>35km</td> <td>50km</td> <td>30km</td> </tr> </tbody> </table>	時刻	3	6	9	12	15	18	21	天候	晴	晴	霧	晴	霧	晴	晴	視程	25km	25km	20km	25km	35km	50km	30km	<p>1. 期間中データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 潮位との相関関係は緩和された。（SD 効果）しかし、部分的には、潮位との相関関係がみられる。 期間中、1回あたり1分程度で、3回-87dBm 以下になった 気温が海水温より高くなっている 10 時から 18 時でも、他の期間（プランチ評価）より RSSI の変動は少ない。 測定期間中、島原では 6m 程度の強い風速であった。 <p>2. 7月 15 日分データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 潮位が高めの時に、RSSI が低くなった。 7月 15 日は、13 時頃に風、雨の影響により、気温が急激に下がっている。そのとき、RSSI は 15dB 程度落ちている。 その後、10dB 程度 RSSI が高くなっている。 島原は 10m 程度、三角は 6m 程度で強い風速であった。
時刻	3	6	9	12	15	18	21																		
天候	晴	晴	霧	晴	霧	晴	晴																		
視程	25km	25km	20km	25km	35km	50km	30km																		

表 3.2.10 気象・海象条件下での電波伝搬特性に関するデータ測定結果（試験期間④）

日程：平成 21 年 7 月 24 日～7 月 31 日	測定データ番号：④-長浜、④-島原																								
<p style="text-align: center;">試験構成図</p>	<p>試験概要：円偏波長浜上段、中段アンテナ ⇌ 円偏波島原上段、下段アンテナ送受信 S D 測定</p> <p>肥後長浜局 - NTT 島原白土局の回線の RSSI を測定する。</p> <p>各種の気象・海象条件と比較して、相関関係を調査する。</p>																								
<p>測定データ：</p> <p>NTT島原白土 7月24日</p> <table border="1"> <tr> <th>時刻</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>9</th> <th>12</th> <th>15</th> <th>18</th> <th>21</th> </tr> <tr> <td>天候</td> <td>薄曇</td> <td>雨</td> <td>雨</td> <td>雨</td> <td>雨</td> <td>雨</td> <td>曇</td> </tr> <tr> <td>視程</td> <td>8km</td> <td>5km</td> <td>4km</td> <td>10km</td> <td>20km</td> <td>30km</td> <td>25km</td> </tr> </table>	時刻	3	6	9	12	15	18	21	天候	薄曇	雨	雨	雨	雨	雨	曇	視程	8km	5km	4km	10km	20km	30km	25km	<p>収集データ：</p> <p>肥後長浜局 RSSI、各種気象データ</p> <p>NTT 島原白土局 RSSI、各種気象データ</p> <p>1. 期間中データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 潮位との相関関係は緩和された。(SD 効果) しかし、部分的には、潮位との相関関係がみられる。 期間中、1 回あたり 1 分程度で、2 回 -87dBm 以下になった。 顕著に、気温が海水温より高くなったりときが、7月27日だけであった。RSSI の大きな変動が 14 時から 16 時の早い時間帯に移動した。 7月25日、26日に強い雨が降った。 <p>2. 7月24日分データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 潮位が高いときに RSSI が低くなった。 気温が海水温より高くなったりが、RSSI の変動は少なかった。 風速が島原、三角ともに 6m 以上であった。
時刻	3	6	9	12	15	18	21																		
天候	薄曇	雨	雨	雨	雨	雨	曇																		
視程	8km	5km	4km	10km	20km	30km	25km																		

表 3.2.11 気象・海象条件下での電波伝搬特性に関するデータ測定結果（試験期間⑤）

<p>日程：平成 21 年 8 月 2 日～8 月 8 日</p> <p>試験構成図</p>	<p>測定データ番号：⑤-長浜、⑤-島原</p> <p>試験概要：円偏波長浜上段アンテナ ⇄ 円偏波島原上段、下段アンテナ送受信 RSSI 測定 肥後長浜局 - NTT 島原白土局の回線の RSSI を測定する。 各種の気象・海象条件と比較して、相関関係を調査する。</p>																								
<p>測定データ： NTT島原白土 8月6日</p>	<p>収集データ：</p> <p>肥後長浜局 受信レベル、通信レート、パケットエラー率、各種気象データ</p> <p>NTT 島原白土局 RSSI、各種気象データ</p> <p>1. 期間中データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 下段アンテナ回線の RSSI が、上段アンテナ回線の RSSI より、10dB 以上低い。 午前中、潮位の高い時に、RSSI の値が低くなっている。 気温が海水温より高いときに、RSSI の値が激しく変動している。(10 時頃から 18 時頃と早い時間帯に移動した。) <p>2. 8月6日分データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 終日気温が海水温より高く、10 時から 21 時まで RSSI は、短い周期で激しい変動していた。 風速は、4m以下であった。 下段アンテナ回線の RSSI が、上段アンテナ回線の RSSI より、10dB 以上低い。 																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>時刻</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>9</th> <th>12</th> <th>15</th> <th>18</th> <th>21</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>天候</td> <td>曇</td> <td>曇</td> <td>晴</td> <td>曇</td> <td>晴</td> <td>晴</td> <td>晴</td> </tr> <tr> <td>視程</td> <td>20km</td> <td>20km</td> <td>30km</td> <td>40km</td> <td>40km</td> <td>35km</td> <td>30km</td> </tr> </tbody> </table>	時刻	3	6	9	12	15	18	21	天候	曇	曇	晴	曇	晴	晴	晴	視程	20km	20km	30km	40km	40km	35km	30km	
時刻	3	6	9	12	15	18	21																		
天候	曇	曇	晴	曇	晴	晴	晴																		
視程	20km	20km	30km	40km	40km	35km	30km																		

表 3.2.12 気象・海象条件下での電波伝搬特性に関するデータ測定結果（試験期間⑥、⑧）

<p>日程：平成 21 年 8 月 9 日～8 月 17 日、 9 月 1 日～9 月 16 日</p> <p>試験構成図</p>	<p>測定データ番号：⑥-長浜、⑥-島原、 ⑧-長浜、⑧-島原</p> <p>試験概要：円偏波島原上段アンテナ ⇄ 円偏波長浜上段、中段アンテナ送受信 RSSI 測定 肥後長浜局-NTT 島原白土局の回線の RSSI を測定する。 各種の気象・海象条件と比較して、相関関係を調査する。</p>																								
<p>測定データ：</p> <p>肥後長浜 8 月 14 日</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>時刻</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>9</th> <th>12</th> <th>15</th> <th>18</th> <th>21</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>天候</td> <td>霧</td> <td>晴</td> <td>霧</td> <td>晴</td> <td>快晴</td> <td>晴</td> <td>霧</td> </tr> <tr> <td>視程</td> <td>15km</td> <td>10km</td> <td>15km</td> <td>15km</td> <td>25km</td> <td>20km</td> <td>15km</td> </tr> </tbody> </table>	時刻	3	6	9	12	15	18	21	天候	霧	晴	霧	晴	快晴	晴	霧	視程	15km	10km	15km	15km	25km	20km	15km	<p>収集データ：</p> <p>肥後長浜局 RSSI、各種気象データ NTT 島原白土局 受信レベル、通信レート、パケットエラーレート、各種気象データ</p> <p>1. 期間中データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 上段回線の RSSI が、安定して高かった。 中段回線の RSSI が逆になっている時もあった。 潮位が高いときに、RSSI が低くなっている。（このとき、中段回線の RSSI が高くなっていた。） 8 月中旬は、10 時から 20 時頃まで、気温が海水温を上回っている。常に RSSI が激しく変動している。 9 月上旬は、12 時から 18 時頃、気温が海水温を上回っている。常に RSSI が激しく変動している。 9 月中旬は、RSSI が比較的安定していた。 9 月 12 日に雨の影響で、気温が急に落ちているときがある。RSSI は、徐々に落ちていった。 <p>2. 8 月 14 日分データコメント</p> <ul style="list-style-type: none"> 10 時から 20 時まで RSSI が激しく変動している。
時刻	3	6	9	12	15	18	21																		
天候	霧	晴	霧	晴	快晴	晴	霧																		
視程	15km	10km	15km	15km	25km	20km	15km																		

表 3.2.13 気象・海象条件下での電波伝搬特性に関するデータ測定結果（試験期間⑦）

日程：平成 21 年 8 月 18 日～8 月 30 日	測定データ番号：⑦-長浜、⑦-島原																								
<p style="text-align: center;">試験構成図</p>	<p>試験概要：円偏波島原上段アンテナ ⇄ 円偏波長浜上段、下段アンテナ送受信 RSSI 測定 肥後長浜局 - NTT 島原白土局の回線の RSSI を測定する。 各種の気象・海象条件と比較して、相関関係を調査する。</p> <p>収集データ： 肥後長浜局 RSSI、各種気象データ NTT 島原白土局 受信レベル、通信レート、パケットエラー率、各種気象データ</p>																								
<p>測定データ：</p> <p>肥後長浜 8月25日</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>時刻</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>9</th> <th>12</th> <th>15</th> <th>18</th> <th>21</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>天候</td> <td>快晴</td> <td>快晴</td> <td>快晴</td> <td>晴</td> <td>晴</td> <td>曇</td> <td>晴</td> </tr> <tr> <td>視程</td> <td>30km</td> <td>30km</td> <td>20km</td> <td>25km</td> <td>25km</td> <td>30km</td> <td>30km</td> </tr> </tbody> </table>	時刻	3	6	9	12	15	18	21	天候	快晴	快晴	快晴	晴	晴	曇	晴	視程	30km	30km	20km	25km	25km	30km	30km	<p>1. 期間中データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 上段回線と下段回線の RSSI データに補完関係が見られる。 比較的、潮位の高いときは、上段アンテナ回線の RSSI が低くなっている。 13 時から 20 時頃に RSSI が激しく変動している。 気温が海水温を上回っている時は、RSSI が激しく変動している。(特に、8月 21 日、24 日、27 日など) 測定期間中の風速は、ほぼ 4m 以下であった。 <p>2. 8月25日分データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 上段回線の RSSI の変動と下段回線の RSSI の変動の仕方が逆である。 14 時から 16 時の RSSI が変動している。この間、気温が海水温を上回っていた。
時刻	3	6	9	12	15	18	21																		
天候	快晴	快晴	快晴	晴	晴	曇	晴																		
視程	30km	30km	20km	25km	25km	30km	30km																		

表 3.2.14 気象・海象条件下での電波伝搬特性に関するデータ測定結果（試験期間⑨）

日程：平成 21 年 9 月 19 日～9 月 23 日	測定データ番号：⑨-長浜、⑨-島原																											
<p style="text-align: center;">試験構成図</p>	<p>試験概要：円偏波島原上段アンテナ ⇄ 垂直偏波/水平偏波長浜上段送受信 RSSI 測定</p> <p>肥後長浜局—NTT 島原白土局の回線の RSSI を測定する。</p> <p>各種の気象・海象条件と比較して、相関関係を調査する。</p> <p>収集データ：</p> <ul style="list-style-type: none"> 肥後長浜局 RSSI、各種気象データ NTT 島原白土局 受信レベル、通信レート、パケットエラー率、各種気象データ 																											
<p>測定データ： 肥後長浜 9月23日</p> <table border="1"> <tr> <th>時刻</th><th>3</th><th>5</th><th>8</th><th>9</th><th>12</th><th>15</th><th>18</th><th>21</th></tr> <tr> <td>天候</td><td>霧</td><td>雨</td><td>曇</td><td>曇</td><td>雨</td><td>霧</td><td>霧</td><td>曇</td></tr> <tr> <td>視程</td><td>15km</td><td>30km</td><td>40km</td><td>30km</td><td>25km</td><td>35km</td><td>25km</td><td></td></tr> </table>	時刻	3	5	8	9	12	15	18	21	天候	霧	雨	曇	曇	雨	霧	霧	曇	視程	15km	30km	40km	30km	25km	35km	25km		<p><u>1. 期間中データコメント：</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 垂直偏波回線の RSSI が水平偏波回線の RSSI より常に 3dB 程度高い。 9 月 19 日の例外はあるが、潮位が高いときに、RSSI は低くなっている。 9 月 19 日は、島原で強い風速であった。5dB 程度の RSSI の変化があるが、比較的安定している。 9 月 21 日の RSSI が変動している時間帯は、14 時から 18 時頃であった。 <p><u>2. 9 月 23 日分データコメント：</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 垂直偏波回線の RSSI が常に 3dB 程度水平偏波回線の RSSI より高い。 潮位が高いときに、RSSI は低い。 14 時から 21 時に RSSI は安定している。 気温と海水温はほぼ同じであった。 14 時から 16 時の島原の風速 6m 程度であった。
時刻	3	5	8	9	12	15	18	21																				
天候	霧	雨	曇	曇	雨	霧	霧	曇																				
視程	15km	30km	40km	30km	25km	35km	25km																					

表 3.2.15 気象・海象条件下での電波伝搬特性に関するデータ測定結果（試験期間⑩）

日程：平成 21 年 9 月 25 日～9 月 27 日	測定データ番号：⑩-長浜、⑩-島原																								
<p style="text-align: center;">試験構成図</p>	<p>試験概要：円偏波島原上段アンテナ ⇄ 水平偏波/円偏波長浜上段アンテナ送受信 RSSI 測定 肥後長浜局 - NTT 島原白土局の回線の RSSI を測定する。 各種の気象・海象条件と比較して、相関関係を調査する。</p> <p>収集データ： 肥後長浜局 RSSI、各種気象データ NTT 島原白土局 受信レベル、通信レート、パケットエラー率、各種気象データ</p>																								
<p>測定データ：</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>時刻</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>9</th> <th>12</th> <th>15</th> <th>18</th> <th>21</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>天候</td> <td>快晴</td> <td>晴</td> <td>晴</td> <td>晴</td> <td>晴</td> <td>晴</td> <td>晴</td> </tr> <tr> <td>視程</td> <td>25km</td> <td>20km</td> <td>20km</td> <td>15km</td> <td>25km</td> <td>30km</td> <td>25km</td> </tr> </tbody> </table>	時刻	3	6	9	12	15	18	21	天候	快晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	視程	25km	20km	20km	15km	25km	30km	25km	<p><u>1. 期間中データコメント：</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 円偏波-円偏波回線の RSSI が円偏波-水平偏波回線の RSSI より 2、3dB 高い。偏波面のロスを考慮すると、両回線の差はほとんどない。 潮位が 50cm 付近で、RSSI の落ち込みがある。 測定期間中、12 時から 18 時頃まで、RSSI が激しく変動している。 風速は、ほぼ 4m 以下であった。 <p><u>2. 9 月 25 日分データコメント：</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 円偏波-円偏波回線の RSSI が円偏波-水平偏波回線の RSSI より 2、3dB 高い。偏波面のロスを考慮すると、両回線の差はほとんどない。 10 時頃の RSSI の落ち込みは、潮位の影響と思われる。 11 時から 19 時に RSSI が激しく変動している。10 時から 18 時に気温が海水温より高くなっている。
時刻	3	6	9	12	15	18	21																		
天候	快晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴																		
視程	25km	20km	20km	15km	25km	30km	25km																		

表 3.2.16 気象・海象条件下での電波伝搬特性に関するデータ測定結果（試験期間⑪、⑫）

<p>日程：平成 21 年 9 月 28 日～10 月 6 日</p> <p>試験構成図</p>	<p>測定データ番号：⑪-長浜、⑪-島原、 ⑫-長浜、⑫-島原</p> <p>試験概要：円偏波（垂直偏波）島原上段アンテナ ⇄ 垂直偏波/円偏波長浜上段アンテナ送受信 RSSI 測定 肥後長浜局-NTT 島原白土局の回線の RSSI を測定する。 各種の気象・海象条件と比較して、相関関係を調査する。</p>																								
<p>測定データ：</p> <p>肥後長浜 10月4日</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>時刻</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>9</th> <th>12</th> <th>15</th> <th>18</th> <th>21</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>天候</td> <td>快晴</td> <td>快晴</td> <td>快晴</td> <td>快晴</td> <td>快晴</td> <td>晴</td> <td>薄雲</td> </tr> <tr> <td>視程</td> <td>25km</td> <td>25km</td> <td>30km</td> <td>40km</td> <td>40km</td> <td>35km</td> <td>30km</td> </tr> </tbody> </table>	時刻	3	6	9	12	15	18	21	天候	快晴	快晴	快晴	快晴	快晴	晴	薄雲	視程	25km	25km	30km	40km	40km	35km	30km	<p>収集データ：</p> <p>肥後長浜局 RSSI、各種気象データ NTT 島原白土局 受信レベル、通信レート、パケットエラーレート、各種気象データ</p> <p>1. 間隔中データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 円偏波-円偏波、垂直偏波-垂直偏波の回線の RSSI が常に 5dB 以上高い。偏波面ロス 3dB を考慮しても、RSSI が 2dB 程度高い。 潮位の高いときに RSSI の低い傾向が見られる。 RSSI の激しい変動が見られなくなった。 気温が海水温を上回ることが少なくなった。 風速は、6m以下であった。 <p>2. 10月4日分データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 垂直-垂直回線は、垂直-円回線より 5dB 以上 RSSI が高い。偏波面ロスを考慮すると 2dB 垂直-垂直回線の RSSI が高い。 14 時から 18 時の RSSI が変動している。島原の気温は、14 時頃 2°C 程度海水温より高い。
時刻	3	6	9	12	15	18	21																		
天候	快晴	快晴	快晴	快晴	快晴	晴	薄雲																		
視程	25km	25km	30km	40km	40km	35km	30km																		

表 3.2.17 気象・海象条件下での電波伝搬特性に関するデータ測定結果（試験期間⑬）

日程：平成 21 年 10 月 7 日～10 月 12 日	測定データ番号：⑬-長浜、⑬-島原																								
<p style="text-align: center;">試験構成図</p>	<p>試験概要：垂直偏波島原上段アンテナ ↔垂直偏波長浜上段アンテナ送受信 RSSI 測定 1 対向（垂直偏波）測定</p> <p>肥後長浜局～NTT 島原白土局の回線の RSSI を測定する。 各種の気象・海象条件と比較して、相関関係を調査する。</p> <p>収集データ： 肥後長浜局 RSSI、各種気象データ NTT 島原白土局 受信レベル、通信レート、パケットエラー率、各種気象データ</p>																								
<p>測定データ： 肥後長浜 10月8日</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>時刻</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>9</th> <th>12</th> <th>15</th> <th>18</th> <th>21</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>天候</td> <td>曇</td> <td>曇</td> <td>晴</td> <td>曇</td> <td>曇</td> <td>曇</td> <td>晴</td> </tr> <tr> <td>視程</td> <td>25km</td> <td>20km</td> <td>30km</td> <td>25km</td> <td>25km</td> <td>25km</td> <td>25km</td> </tr> </tbody> </table>	時刻	3	6	9	12	15	18	21	天候	曇	曇	晴	曇	曇	曇	晴	視程	25km	20km	30km	25km	25km	25km	25km	<p>1. 期間中データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 台風以外は、風速 6m 以下であった。 潮位が高いときに RSSI が低くなっている。 RSSI の激しい変動が見られなくなった。 試験期間中、気温が海水温より常に低い。 <p>2. 10月8日分データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 10月7日、8日に台風が通過し、風速が島原で 8m～13m、最大瞬間風速 20m、三角で 6m 程度、最大瞬間風速 18m と非常に強かった。その間の RSSI は、-65dBm 程度で安定していた。 10月8日は、潮位の影響が見られない。
時刻	3	6	9	12	15	18	21																		
天候	曇	曇	晴	曇	曇	曇	晴																		
視程	25km	20km	30km	25km	25km	25km	25km																		

表 3.2.18 気象・海象条件下での電波伝搬特性に関するデータ測定結果（試験期間⑭）

日程：平成 21 年 10 月 15 日～10 月 19 日	測定データ番号：⑭-長浜、⑭-島原																								
<p style="text-align: center;">試験構成図</p>	<p>試験概要：円偏波島原上段アンテナ ⇄ 円偏波長浜上段、中段アンテナ受信 S D 測定 肥後長浜局 - NTT 島原白土局の回線の RSSI を測定する。 各種の気象・海象条件と比較して、相関関係を調査する。</p> <p>収集データ： 肥後長浜局 RSSI、各種気象データ NTT 島原白土局 受信レベル、通信レート、パケットエラー率、各種気象データ</p>																								
<p>測定データ：</p> <p>肥後長浜 10月17日</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>時刻</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>9</th> <th>12</th> <th>15</th> <th>18</th> <th>21</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>天候</td> <td>雲</td> <td>薄雲</td> <td>雨</td> <td>晴</td> <td>快晴</td> <td>快晴</td> <td>快晴</td> </tr> <tr> <td>視程</td> <td>20km</td> <td>20km</td> <td>40km</td> <td>40km</td> <td>20km</td> <td>15km</td> <td>10km</td> </tr> </tbody> </table>	時刻	3	6	9	12	15	18	21	天候	雲	薄雲	雨	晴	快晴	快晴	快晴	視程	20km	20km	40km	40km	20km	15km	10km	<p>1. 期間中データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 潮位が高いとき、RSSI は低めの傾向がある。 気温が、海水温を上回らなかった。(例外は、10月17日) 風速は、常に 6m以下であった。 <p>2. 10月17日分データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 10月17日に気温が海水温より高くなっている。(このときの風速は、4m程度であった。) RSSI は安定している。
時刻	3	6	9	12	15	18	21																		
天候	雲	薄雲	雨	晴	快晴	快晴	快晴																		
視程	20km	20km	40km	40km	20km	15km	10km																		

表 3.2.19 気象・海象条件下での電波伝搬特性に関するデータ測定結果（試験期間⑮）

日程：平成 21 年 10 月 24 日～10 月 28 日	測定データ番号：⑮-長浜、⑮-島原																								
<p style="text-align: center;">試験構成図</p>	<p>試験概要：水平偏波島原上段アンテナ ⇄ 水平偏波長浜上段アンテナ 送受信 RSSI 測定 肥後長浜局-NTT 島原白土局の回線の RSSI を測定する。 各種の気象・海象条件と比較して、相関関係を調査する。</p> <p>収集データ： 肥後長浜局 RSSI、各種気象データ NTT 島原白土局 受信レベル、通信レート、パケットエラー率、各種気象データ</p>																								
<p>測定データ：</p> <p>肥後長浜 10月25日</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>時刻</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>9</th> <th>12</th> <th>15</th> <th>18</th> <th>21</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>天候</td> <td>雲</td> <td>雲</td> <td>雲</td> <td>雨</td> <td>雨</td> <td>雨</td> <td>雨</td> </tr> <tr> <td>視程</td> <td>20km</td> <td>20km</td> <td>20km</td> <td>10km</td> <td>10km</td> <td>30km</td> <td>20km</td> </tr> </tbody> </table>	時刻	3	6	9	12	15	18	21	天候	雲	雲	雲	雨	雨	雨	雨	視程	20km	20km	20km	10km	10km	30km	20km	<p>1. 期間中データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 潮位が高めのときに、RSSI が落ちていることがある。 RSSI の激しい変動が見られなくなった。 気温が高くなても、海水温と同じ程度であった。 10月26日の午後は、風速が、島原で 8m、三角で 6m 程度であった。RSSI は安定している。 <p>2. 10月25日分データコメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> 午後は、潮位が高いときに、RSSI が落ちている。 気温がほぼ一定である。 島原の風速が 6m 程度のとき（特に午前中）は、RSSI が -65dBm 程度で安定している。 12 時から 17 時まで、風速が 2m～4 m と収まっている。その間、RSSI が落ちている。
時刻	3	6	9	12	15	18	21																		
天候	雲	雲	雲	雨	雨	雨	雨																		
視程	20km	20km	20km	10km	10km	30km	20km																		

3.2.2 周波数選択性フェージング評価試験

(1) 概要

夏季の午後、気温が海水温より高くなると RSSI が激しく変動する現象が多々見受けられた。特に、8月14日、16日のデータは顕著に出た。

図3.2.10に8月14日の測定データと潮位と気温のグラフを示す。

直接波と海面反射波の2波モデルの場合、潮位の変動と RSSI の変動に関連性がある。しかし、8月14日の10時から20時までの RSSI と潮位の関連性は薄かった。RSSI が激しく変動しているときは、他のときも、気温が海水温より高かった。

水蒸気の発生による変動が考えられるが、ここでは、RSSI の激しい変動をマルチパスが発生していると想定し解析を行う事とした。

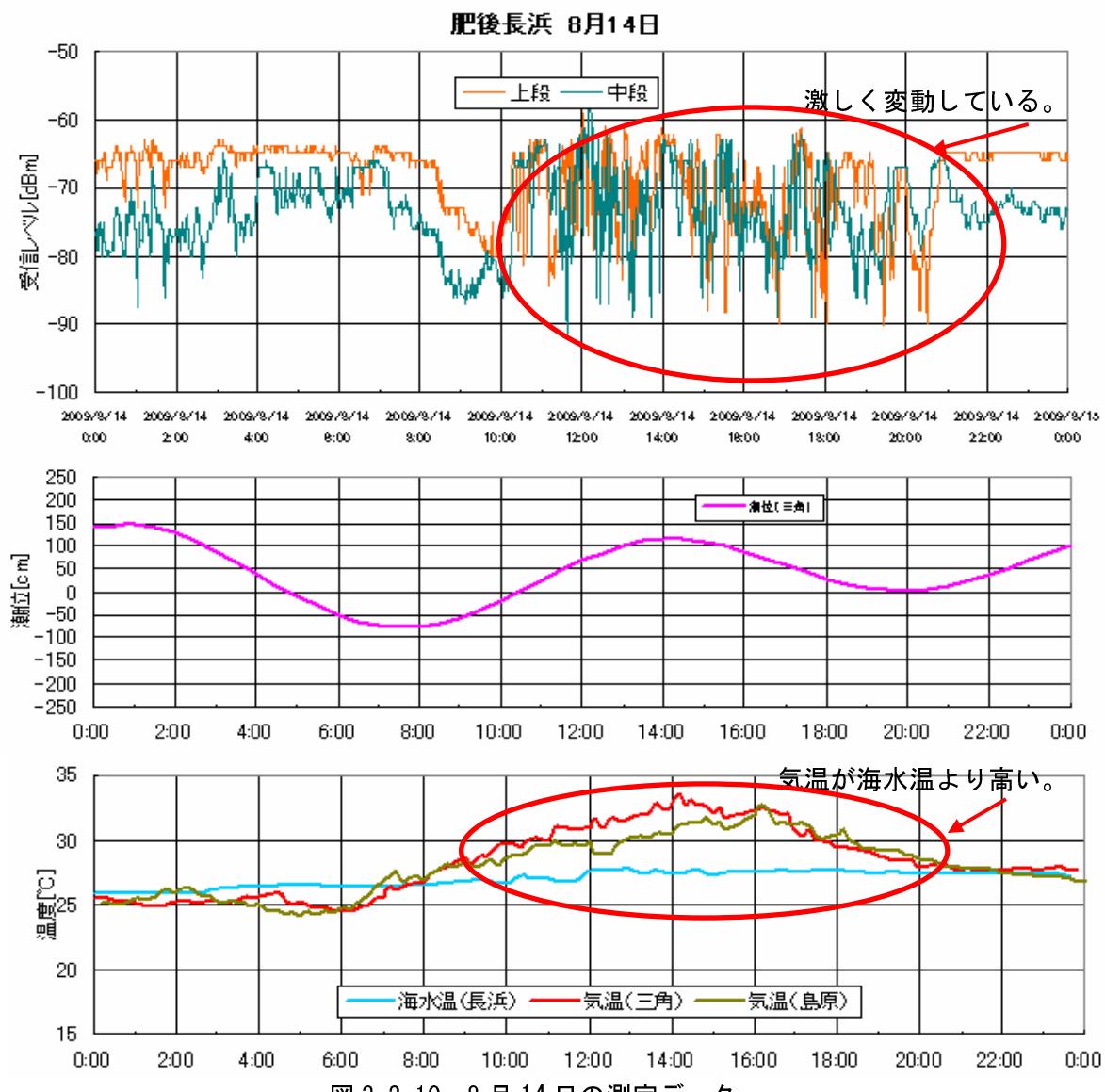


図3.2.10 8月14日の測定データ

(2) 測定方法

試験構成図を図 3.2.11 に示す。

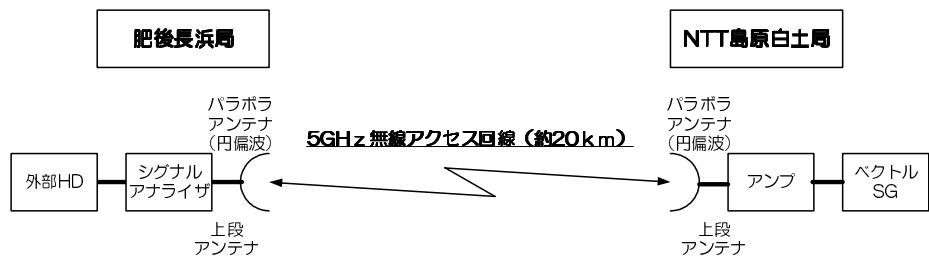


図 3.2.11 周波数選択性フェージング評価試験構成図

このとき、肥後長浜局のシグナルアナライザで、周波数特性を測定する。

表 3.2.20 に機器構成を、表 3.2.21 に仕様を示す。

表 3.2.20 機器構成

No.	項目	型名	メーカー	数量	備考
1	ベクトル信号発生器	MG3700A	アンリツ	1 台	
2	マイクロ波システムアンプ	83017A	Agilent Technologies	1 台	
3	パラボラアンテナ	06AA-050RNCA	日本電業工作	2 基	円偏波
4	アンテナケーブル			2 本	3.5m
5	シグナルアナライザ	MS2692A	アンリツ	1 台	
6	外部H D	HD-CN1. OTU2	Buffalo	2 台	1TB

表 3.2.21 仕様

No.	項目	仕様
1	ベクトル信号発生器	
-1	周波数範囲	250kHz～6GHz
-2	出力レベル	-140～+19dBm (CW時 確度保証範囲: -136～+10dBm)
-3	波形パターン	IEEE802.11a_OFDM_54Mbps(16QAM), 9Mbps(BPSK)
2	マイクロ波システムアンプ	
-1	周波数	0.5～26.5GHz
-2	増幅率	25dB (最小)
-3	最大出力	+20dBm (0.5～20GHz)
3	パラボラアンテナ	
-1	アンテナ利得	24.0dBi
-2	半値角	約7°～8°
4	アンテナケーブル	
-1	ケーブル長	3.5m
-2	ケーブル損失	2dB
5	シグナルアナライザ	
-1	周波数	50Hz～26.5GHz
-2	測定範囲	-152.0dBm～+30dBm
6	外部H D	
-1	容量	1TB



図 3.2.12 ベクトル信号発生器
(アンリツ株式会社提供)



図 3.2.13 シグナルアナライザ
(アンリツ株式会社提供)

(3) 測定データ

表 3.2.22 に周波数選択性フェージング測定結果を示す。図 3.2.14 から図 3.2.27 に測定データを示す。

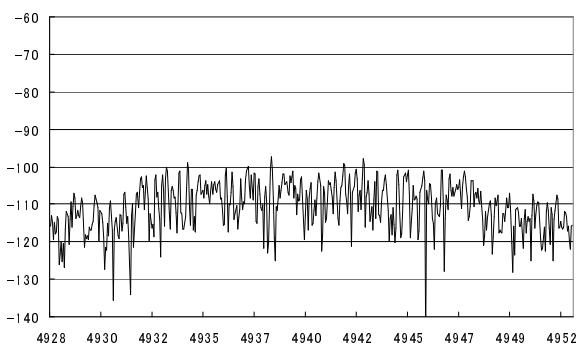


図 3.2.14 10月21日10時測定データ

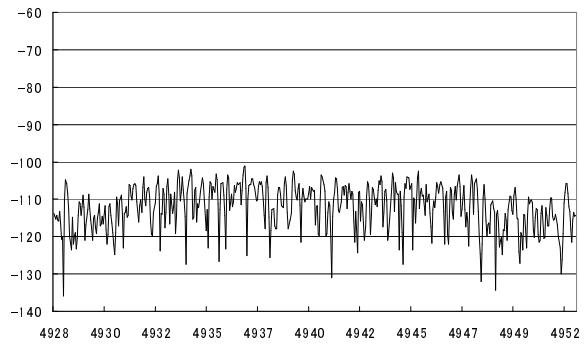


図 3.2.15 10月21日13時測定データ

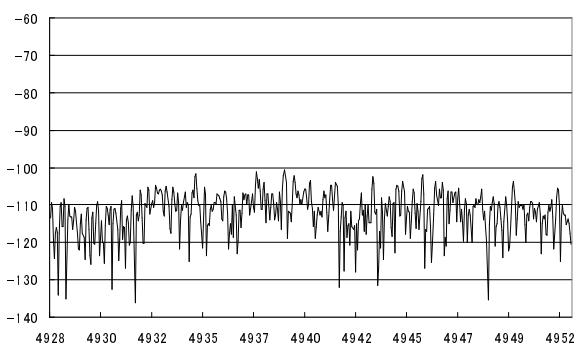


図 3.2.16 10月21日16時測定データ

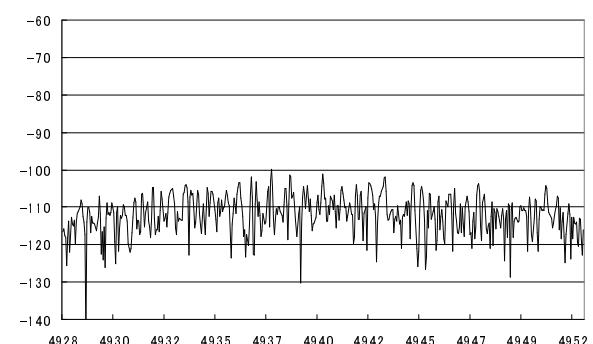
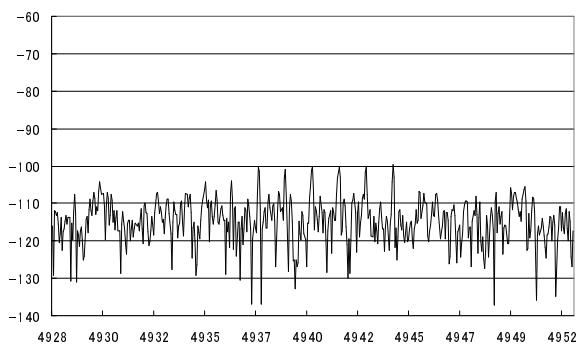
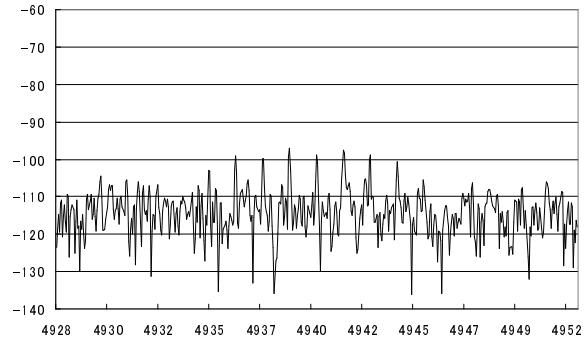


図 3.2.17 10月21日19時測定データ



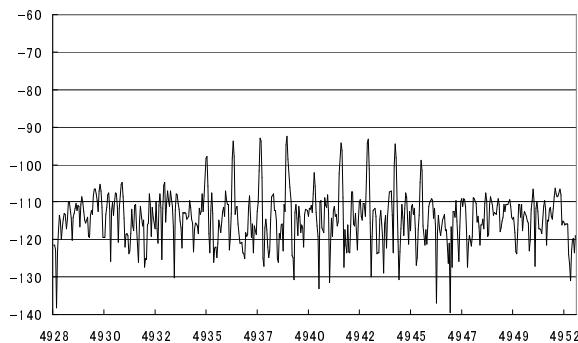
周波数 [MHz]

図 3.2.18 10月21日21時測定データ



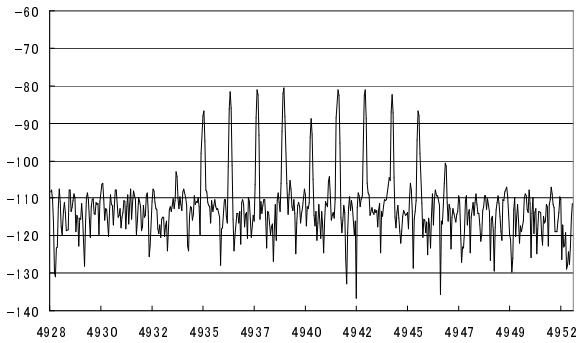
周波数 [MHz]

図 3.2.19 10月21日22時測定データ



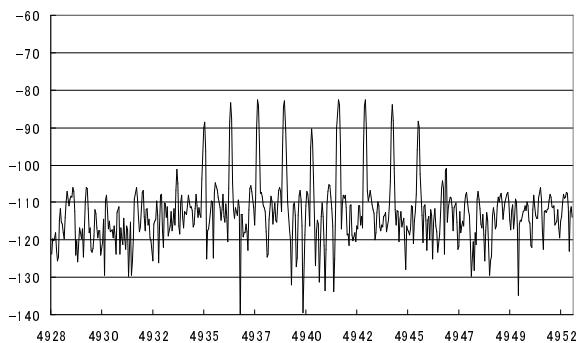
周波数 [MHz]

図 3.2.20 10月21日22時5分測定データ



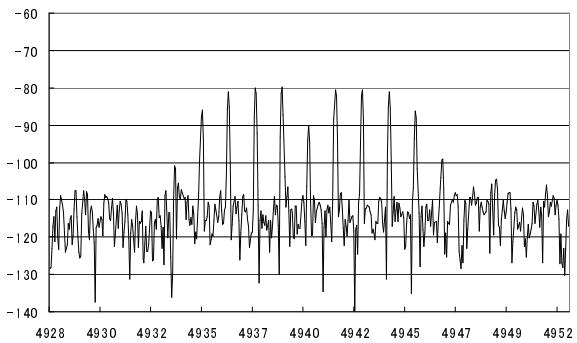
周波数 [MHz]

図 3.2.21 10月22日7時測定データ



周波数 [MHz]

図 3.2.22 10月22日10時測定データ



周波数 [MHz]

図 3.2.23 10月22日13時測定データ

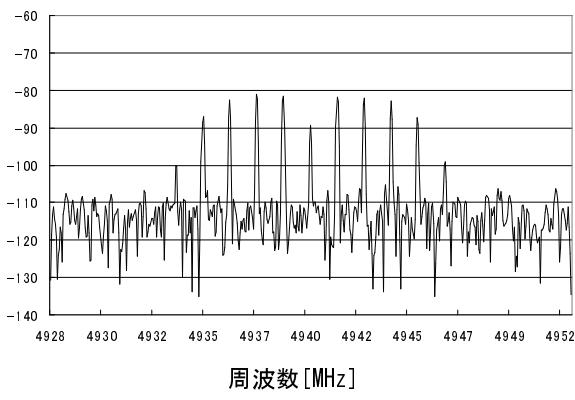


図 3.2.24 10月22日 16時測定データ

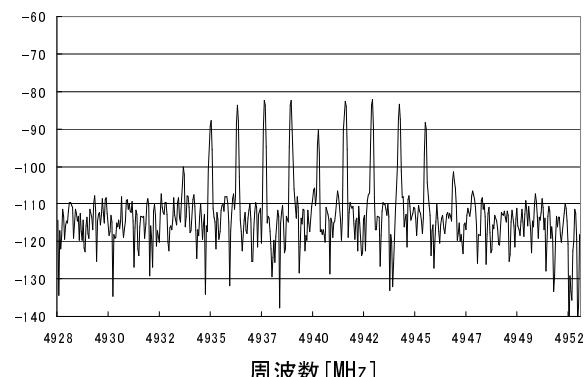


図 3.2.25 10月22日 19時測定データ

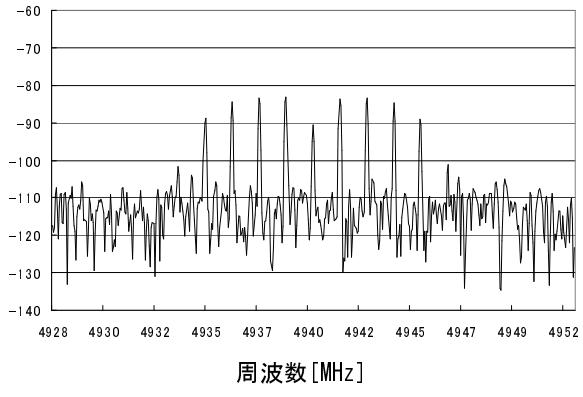


図 3.2.26 10月22日 22時測定データ

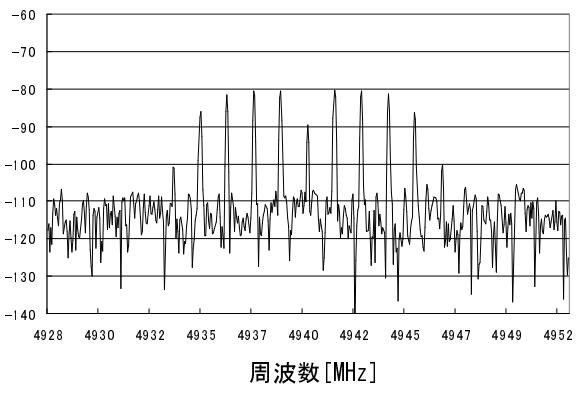


図 3.2.27 10月23日 1時測定データ

表 3.2.22 周波数選択性フェージング測定結果

日程：平成 21 年 10 月 19 日～10 月 23 日	測定データ：図 3.2.14～図 3.2.27
<p style="text-align: center;">試験構成図</p>	<p>試験概要：周波数選択性フェージングの測定</p> <p>NTT 島原白土局（上段円偏波）からベクトル SG を送信して、肥後長浜局（上段円偏波）のシグナルアナライザにて受信し、スペクトラム解析を行う。</p> <p>収集データ： 肥後長浜局 スペクトラム特性</p>
<p>コメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・10月21日はそのままの形を保ちつつ減衰している。 ・21時頃からPN3の数本の角のようにスペクトラムが現れている。 ・22日にはPN3符号のスペクトラムが現れているが、全体的に減衰している。 	
<p>測定データ：</p>	
<p>周波数 [MHz]</p> <p>10月21日 21時 測定データ</p>	<p>周波数 [MHz]</p> <p>10月22日 13時 測定データ</p>

3.3 アンテナ伝送技術評価試験

3.3.1 スペースダイバーシティ方式評価試験

(1) 概要

目的は、SD方式の効果を検証し、最適なアンテナ間離隔の調査を行うため、つきの試験を行う。

- ① SD効果を確認するために、ブランチ測定を行う。
- ② アンテナ間離隔の比較を行うために、4mと8mのアンテナ間離隔の試験を行う。(アンテナ間離隔8mは、ハイトパターンのトップとヌルの間隔で、アンテナ間離隔4mは、8mの半分の間隔で、比較的実現が可能な間隔である。)
- ③ アンテナ海拔高は40m以下である。

(2) 測定方法

アンテナ間離隔4mと8mの2種類の回線をブランチ測定にて海上電波伝搬試験を行う。

図2.2.1(試験期間⑥～⑧)で、肥後長浜局のアンテナ高を上段、中段アンテナ(アンテナ間離隔4m)、上段、下段アンテナ(アンテナ間離隔8m)を調査し、SDの効果の確認と最適なアンテナ間離隔の調査をした。

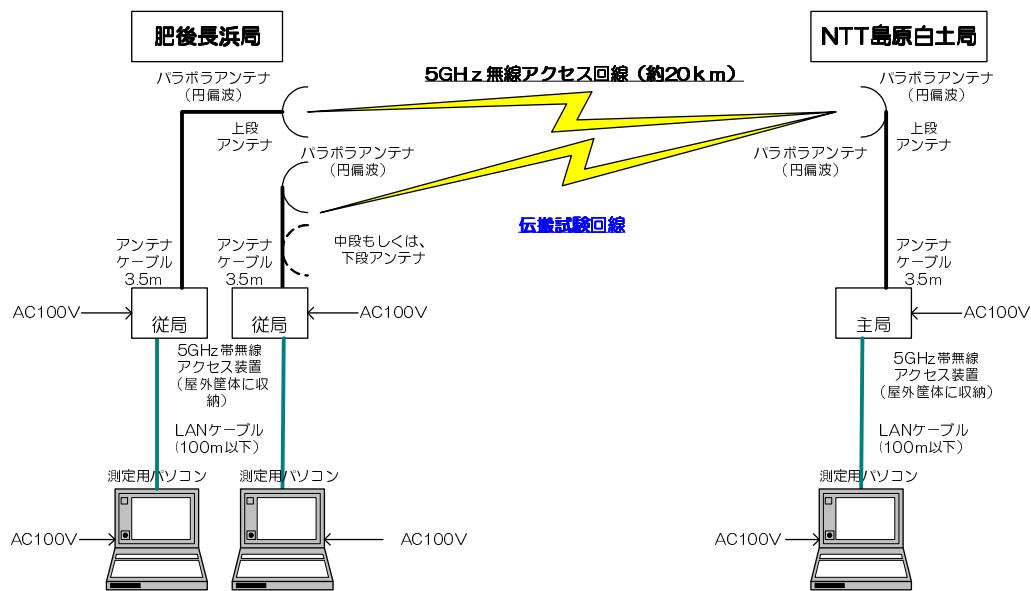


図3.3.1 試験期間⑥～⑧の試験構成図

このときに、主局側に接続した測定用パソコンで、受信レベル、通信レート、パケットエラー率を測定し、従局側に接続した測定用パソコンで、RSSIを測定した。

表3.3.1に機器構成を、表3.3.2に仕様を示す。

表 3.3.1 機器構成

No.	項目	型名	メーカー	数量	備考
1	5GHz 帯無線アクセス装置	JRL-749AP1 JRL-749ST1	日本無線	2 台	
2	パラボラアンテナ	06AA-050RNCA	日本電業工作	4 基	円偏波
3	アンテナケーブル			3 本	3.5m
4	アンテナケーブル			2 本	10m
5	パソコン			3 台	測定用

表 3.3.2 仕様

No.	項目	仕様
1	5GHz 帯無線アクセス装置	
-1	周波数	5GHz 帯 (4.9~5.0GHz)
-2	伝送容量	6/7/12/18/24/36/48/54Mbps
-3	変調方式	OFDM
-4	送信出力	20mW 以下
-5	アンテナ端子	2 個
-6	インターフェース	Ethernet (10/100BASE-T)
-7	その他	無線規格 : IEEE802.11j 準拠
2	パラボラアンテナ	
-1	アンテナ利得	24.0dBi
-2	半值角	約 7° ~8°
3	アンテナケーブル	
-1	ケーブル長	3.5m/10m
-2	ケーブル損失	2dB/2.2dB

試験構成図における肥後長浜局のアンテナ位置と測定期間の関係を表 3.3.3 に示す。

表 3.3.3 試験期間と肥後長浜局のアンテナ位置

試験 期間	期間	肥後長浜局		NTT 島原白土局	
		アンテナ位置	アンテナ高	アンテナ位置	アンテナ高
⑥	8/9~8/17	上段、中段	26.3m、22.3m		
⑦	8/18~8/30	上段、下段	26.3m、18.3m		
⑧	9/1~9/16	上段、中段	26.3m、22.3m	上段	35.0m

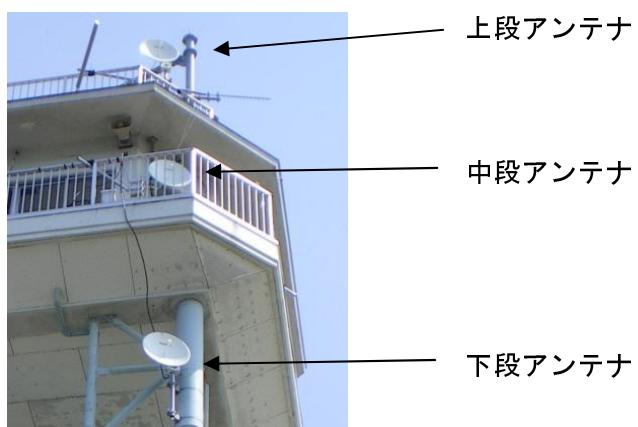


図 3.3.2 肥後長浜局上段、中段、下段アンテナ



図 3.3.3 肥後長浜局上段アンテナ



図 3.3.4 肥後長浜局中段アンテナ



図 3.3.5 肥後長浜局下段アンテナ



図 3.3.6 NTT 島原白土局上段アンテナ

(3) 測定データ

表 3.3.4 にスペースダイバーシティ方式評価の試験期間と試験構成一覧表を示す。

また、試験期間⑥、⑦、⑧のデータ測定結果を表 3.3.5 と表 3.3.6 に示す。

なお、試験期間⑥、⑦、⑧の測定データは別冊に示す。

表 3.3.4 スペースダイバーシティ方式評価の試験期間と試験構成一覧表

試験番号	期間	測定方法	主局	アンテナ		従局	アンテナ	
				無線機	位置		無線機	位置
⑥	8/9-8/17	送受信 RSSI (上段、中段) 測定	島原	1	上段	円	長浜	2 上段 中段
⑦	8/18-8/30	送受信 RSSI (上段、下段) 測定	島原	1	上段	円	長浜	2 上段 下段
⑧	9/1-9/16	送受信 RSSI (上段、中段) 測定	島原	1	上段	円	長浜	2 上段 中段

表 3.3.5 NTT 島原白土上段円偏波アンテナ ⇄ 肥後長浜上段円偏波、中段円偏波アンテナ間
(RSSI) 測定結果

<p>日程：平成 21 年 8 月 9 日～8 月 17 日、 9 月 1 日～9 月 16 日</p>	<p>測定データ番号：⑥-長浜、⑥-島原、 ⑧-長浜、⑧-島原</p>
<p>試験構成図</p>	<p>試験概要：円偏波島原上段アンテナ ⇄ 円偏波長浜上段、中段アンテナ 送受信 RSSI 測定</p> <p>肥後長浜局（上段円偏波）－NTT 島原白土局（上段円偏波）と肥後長浜局（中段円偏波）－NTT 島原白土局（上段円偏波）の回線を測定する。</p> <p>アンテナ間離隔を調査するための測定</p> <p>収集データ：</p> <ul style="list-style-type: none"> 肥後長浜局 RSSI（上段、中段円偏波アンテナ） NTT 島原白土局 受信レベル、通信レート、パケットエラー率
<p><u>1. 期間中データコメント：</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・上段アンテナの回線と中段アンテナの回線の RSSI は、上段、下段の回線より相関関係が高そうだ。 ・上段アンテナの RSSI は中段アンテナの RSSI より、5dB 程度高い。 ・上段アンテナの RSSI が -80dBm に落ち込むとき、中段アンテナの RSSI は上段回線を補うように高くなっている。 <p><u>2. 8 月 11 日分データコメント</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・0 時から 2 時、11 時から 12 時、17 時から 18 時などで中段アンテナ回線の RSSI が上段アンテナ回線の RSSI を補うよう高くなっているが、他の時間は、ほとんど上段アンテナ回線の RSSI が高い。 <p>測定データ :</p> <p style="text-align: center;">肥後長浜 8月11日</p>	

表 3.3.6 NTT 島原白土上段円偏波アンテナ ⇄ 肥後長浜上段円偏波、下段円偏波アンテナ間
(RSSI) 測定結果

日程：平成 21 年 8 月 18 日～8 月 30 日	測定データ番号：⑦-長浜、⑦-島原
試験構成図 	試験概要： 円偏波島原上段アンテナ ⇄ 円偏波長浜上段、下段アンテナ送受信 RSSI 測定 肥後長浜局（上段円偏波）-NTT 島原白土局（上段円偏波）と肥後長浜局（下段円偏波）-NTT 島原白土局（上段円偏波）の回線を測定する。 アンテナ間離隔を調査するための測定 収集データ： 肥後長浜局 RSSI（上段、下段円偏波アンテナ） NTT 島原白土局 受信レベル、通信レート、パケットエラー率
<u>1. 期間中データコメント：</u> <ul style="list-style-type: none"> 上段アンテナの回線と下段アンテナの回線の RSSI は、上段、中段の回線より相関関係が低く、補完している。 上段アンテナの RSSI は、高いときは、-65dBm 程度で、低いときは、-90dBm 程度である。 下段アンテナの RSSI は、高いときは、-70dBm 程度で、低いときは、-90dBm 以下になる。 上段アンテナの RSSI と下段アンテナの RSSI は、-75dBm 付近で切り替わっている。 	
<u>2. 8月21日分データコメント</u> <ul style="list-style-type: none"> 上段アンテナ回線の RSSI が下段アンテナ回線の RSSI より高いが、8 時から 10 時頃、20 時頃などの時間で、RSSI -75dBm を境にして、下段アンテナ回線の RSSI が補うように高くなっている。 	
測定データ：	

3.3.2 偏波面の評価試験

(1) 概要

円偏波が長距離海上にて、どのような電波伝搬をするか調査するために、円偏波アンテナで送信して、直線偏波（垂直偏波、水平偏波）アンテナ直線で受信する測定を行った。また、直線偏波アンテナの偏波面を回転させ、円偏波アンテナの送信を受信した偏波面測定を行った。円偏波送信で直線偏波受信することで、円偏波を垂直偏波成分と水平偏波成分の2つの成分に分け考察することができる。

更に、偏波ダイバーシティの効果を調査する。横方向にアンテナを離す偏波ダイバーシティは、縦方向にアンテナを離すSDと比較して、アンテナ設置に関する物理的な制約が少ない。偏波ダイバーシティの有効性が高ければ長距離海上電波伝搬には更に良いシステムである。

(2) 測定方法

① 複数偏波の組合せ測定

図3.3.7（試験期間⑨～⑫）の構成で円偏波、直線偏波と様々な偏波にて試験を行った。

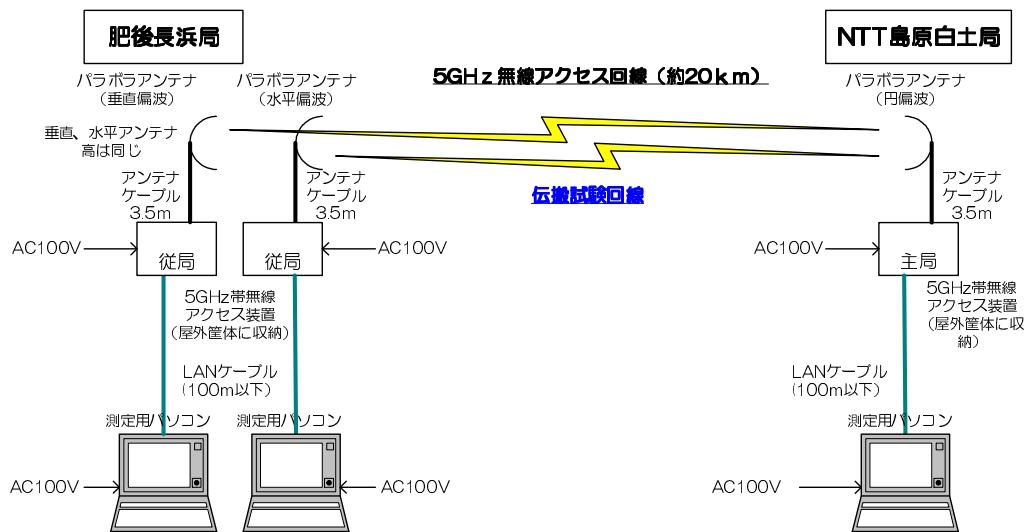


図3.3.7 試験期間⑨～⑫の試験構成図

このときに、主局側に接続した測定用パソコンで、受信レベル、通信レート、パケットエラー率を測定し、従局側に接続した測定用パソコンで、RSSIを測定した。

表3.3.7に機器構成を、表3.3.8に仕様を示す。

表 3.3.7 機器構成

No.	項目	型名	メーカー	数量	備考
1	5GHz 帯無線アクセス装置	JRL-749AP1 JRL-749ST1	日本無線	2 台	
2	パラボラアンテナ	06AA-050RNCN	日本電業工作	2 基	円偏波
3	パラボラアンテナ	06AA-050SNCA	日本電業工作	1 基	垂直偏波
4	パラボラアンテナ	06AA-050SNCA	日本電業工作	1 基	水平偏波
5	アンテナケーブル			3 本	3.5m
6	パソコン			3 台	測定用

表 3.3.8 仕様

No.	項目	仕様
1	5GHz 帯無線アクセス装置	
-1	周波数	5GHz 帯 (4.9~5.0GHz)
-2	伝送容量	6/7/12/18/24/36/48/54Mbps
-3	変調方式	OFDM
-4	送信出力	20mW 以下
-5	アンテナ端子	2 個
-6	インターフェース	Ethernet (10/100BASE-T)
-7	その他	無線規格 : IEEE802.11j 準拠
2	パラボラアンテナ	
-1	アンテナ利得	24.0dBi
-2	半值角	約 7° ~8°
3	アンテナケーブル	
-1	ケーブル長	3.5m
-2	ケーブル損失	2dB

なお、試験構成図における肥後長浜局と NTT 島原白土局のアンテナ偏波面と測定期間の関係を表 3.3.9 に示す。

表 3.3.9 試験期間と肥後長浜局のアンテナ位置

試験期間	期間	肥後長浜局		NTT 島原白土局
		偏波面	偏波面	偏波面
⑨	9/19~9/23	垂直	水平	円
⑩	9/25~9/26	円	水平	円
⑪	9/28~9/29	円	垂直	円
⑫	9/29~10/6	円	垂直	垂直



図 3.3.8 肥後長浜局偏波ダイバーシティ測定用アンテナ

② 偏波面測定

偏波面測定の構成図を図 3.3.9 に示す。

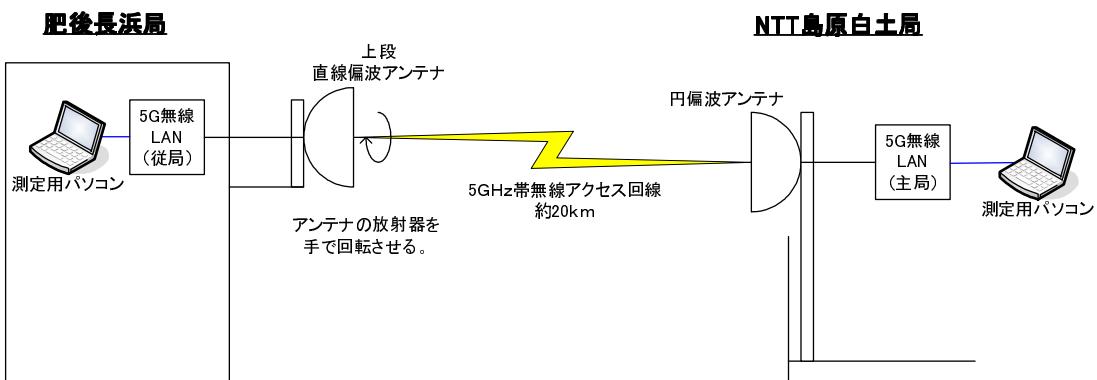


図 3.3.9 偏波面測定の構成図

- ア アンテナ放射器を 30° 間隔で 360° 回転させる。
- イ RSSI の低い角度 ($330^\circ \sim 30^\circ$) と RSSI の高い角度 ($60^\circ \sim 120^\circ$) を 10° 間隔で、詳細を測定した。
- ウ 測定精度を上げるために 1 回の測定で、2 度測定した。
- エ 1 日で、4 回測定した。



図 3.3.10 アンテナの回転方法（日本電業工作様写真提供）

表 3.3.10 に機器構成を、表 3.3.11 に仕様を示す。

表 3.3.10 機器構成

No.	項目	型名	メーカー	数量	備考
1	5GHz 帯無線アクセス装置	JRL-749AP1 JRL-749ST1	日本無線	2 台	
2	パラボラアンテナ	06AA-050RNCA	日本電業工作	1 基	円偏波
3	パラボラアンテナ	06AA-050SNCA	日本電業工作	1 基	垂直偏波
4	アンテナケーブル			2 本	3.5m
5	パソコン			2 台	測定用

表 3.3.11 仕様

No.	項目	仕様
1	5GHz 帯無線アクセス装置	
-1	周波数	5GHz 帯 (4.9~5.0GHz)
-2	伝送容量	6/7/12/18/24/36/48/54Mbps
-3	変調方式	OFDM
-4	送信出力	20mW 以下
-5	アンテナ端子	2 個
-6	インターフェース	Ethernet (10/100BASE-T)
-7	その他	無線規格 : IEEE802.11j 準拠
2	パラボラアンテナ	
-1	アンテナ利得	24.0dBi
-2	半值角	約 7° ~8°
3	アンテナケーブル	
-1	ケーブル長	3.5m
-2	ケーブル損失	2dB

(3) 測定データ

偏波面の評価と偏波面測定の試験期間と試験構成を表 3.3.12 に示す。また、偏波面の評価と偏波面測定のデータ測定結果を表 3.3.13～表 3.3.17 に示す。

なお、試験期間⑨～⑫の測定データは別冊に示す。偏波面測定の測定結果は、図 3.3.11 と表 3.3.18 に示す。

表 3.3.12 偏波面の評価と偏波面測定の試験期間と試験構成一覧表

試験番号	期間	測定方法	主局	無線機	アンテナ		従局	無線機	アンテナ	
					位置	偏波面			位置	偏波面
⑨	9/19~9/23	偏波ダイバーシティ測定	島原	1	上段	円	長浜	2	上段	垂直 水平
⑩	9/25~9/27	偏波ダイバーシティ（円偏波、水平偏波）測定	島原	1	上段	円	長浜	2	上段	円 水平
⑪	9/28~9/29	偏波ダイバーシティ（円偏波、垂直偏波）測定	島原	1	上段	円	長浜	2	上段	円 垂直
⑫	9/29~10/6	偏波ダイバーシティ測定 (予備試験)	島原	1	上段	垂直	長浜	2	上段	垂直 円
	10/8	偏波面測定	島原	1	上段	円	長浜	1	上段	直線

表 3.3.13 NTT 島原白土上段円偏波アンテナ ⇄ 肥後長浜上段垂直偏波、上段水平偏波アンテナ間 (RSSI) 測定結果

日程 : 平成 21 年 9 月 19 日～9 月 23 日	測定データ番号 : ⑨-長浜、⑨-島原
<p>試験構成図</p>	<p>試験概要 : 円偏波島原上段アンテナ ⇄ 垂直偏波/水平偏波長浜上段アンテナの偏波ダイバーシティ測定</p> <p>肥後長浜局 (上段垂直偏波) - NTT 島原白土局 (上段円偏波) と肥後長浜局 (上段水平偏波) - NTT 島原白土局 (上段円偏波) の回線を測定する。</p> <p>偏波ダイバーシティの効果を調査するための測定</p>
<p>収集データ :</p> <p>肥後長浜局 RSSI (上段垂直偏波、上段水平偏波アンテナ)</p> <p>NTT 島原白土局 受信レベル、通信レート、パケットエラー率</p>	
<p>1. 期間中データコメント :</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水平偏波、垂直偏波共に RSSI は同じような変化をしている。(水平偏波の方が 3dB ほど高い。) ・RSSI が高いときに、水平偏波と垂直偏波のレベル差が開く傾向がある。 <p>2. 9 月 21 日分データコメント :</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水平偏波、垂直偏波共に RSSI は同じような変化をしているが、3 時頃、6 時から 8 時、13 時頃など多少違う変化をしている時間もある。 	
<p>測定データ :</p> <p style="text-align: center;">肥後長浜 9月21日</p>	

表 3.3.14 NTT 島原白土上段円偏波アンテナ ⇄ 肥後長浜上段円偏波、上段水平偏波アンテナ間 (RSSI) 測定結果

日程：平成 21 年 9 月 24 日～9 月 27 日	測定データ番号：⑩-長浜、⑩-島原
試験構成図 	試験概要： 円偏波島原上段アンテナ ⇄ 水平偏波/円偏波長浜上段アンテナ送受信 RSSI 測定 肥後長浜局（上段円偏波）-NTT 島原白土局（上段円偏波）と肥後長浜局（上段水平偏波）-NTT 島原白土局（上段円偏波）の回線を測定する。 偏波面の違いを比較するための測定
	収集データ： 肥後長浜局 RSSI (上段円偏波、上段水平偏波アンテナ) NTT 島原白土局 受信レベル、通信レート、パケットエラー率
<u>1. 期間中データコメント：</u> <ul style="list-style-type: none"> 円偏波、水平偏波共に RSSI は同じような変化をしている。 円偏波-円偏波回線が円偏波-水平偏波回線より、2dB 程度高い。偏波面ロスを考慮すると RSSI は同じ程度になる。 	
<u>2. 9 月 25 日分データコメント：</u> <ul style="list-style-type: none"> 円偏波、水平偏波共に RSSI は同じような変化をしているが、1 時から 2 時、5 時前など多少違う変化をしている時間もある。 	
測定データ： 	

表 3.3.15 NTT 島原白土上段円偏波アンテナ ⇄ 肥後長浜上段円偏波、上段垂直偏波アンテナ間 (RSSI) 測定結果

日程：平成 21 年 9 月 28 日～9 月 29 日	測定データ番号：⑪-長浜、⑪-島原
試験構成図 	試験概要： 円偏波島原上段アンテナ ⇄ 垂直偏波/円偏波長浜上段アンテナ送受信 RSSI 測定 肥後長浜局（上段円偏波）－NTT 島原白土局（上段円偏波）と肥後長浜局（上段垂直偏波）－NTT 島原白土局（上段円偏波）の回線を測定する。 偏波面の違いを比較するための測定 収集データ： 肥後長浜局 RSSI (上段円偏波、上段垂直偏波アンテナ) NTT 島原白土局 受信レベル、通信レート、パケットエラー率
1. 期間中データコメント： <ul style="list-style-type: none"> 円偏波、垂直偏波共に RSSI が同じような変化をしている。 円偏波－円偏波回線の RSSI が、円偏波－垂直偏波回線の RSSI より 5dB 以上高い。偏波面ロスを考慮すると RSSI が 2dB 以上高い。 	
2. 9 月 28 日分データコメント： <ul style="list-style-type: none"> 水平偏波アンテナから、垂直偏波アンテナに切り替えで、RSSI のレベル差が一気に 5dB 程度広がった。 	
測定データ： 	

表 3.3.16 NTT 島原白土上段垂直偏波アンテナ ⇄ 肥後長浜上段垂直偏波、上段円偏波アンテナ間 (RSSI) 測定結果

日程 : 平成 21 年 9 月 29 日～10 月 6 日	測定データ番号 : ⑪-長浜、⑫-島原
<p style="text-align: center;">試験構成図</p>	<p>試験概要 : 垂直偏波島原上段アンテナ ⇄ 垂直偏波/円偏波長浜上段アンテナ送受信 RSSI 測定</p> <p>肥後長浜局 (上段垂直偏波) - NTT 島原白土局 (上段垂直偏波) と肥後長浜局 (上段円偏波) - NTT 島原白土局 (上段垂直偏波) の回線を測定する。</p> <p>偏波面の違いを比較するための測定</p>
<p>収集データ :</p> <p>肥後長浜局</p> <p>RSSI (上段垂直偏波、上段円偏波アンテナ)</p> <p>NTT 島原白土局</p> <p>受信レベル、通信レート、パケットエラー率</p>	
<p><u>1. 期間中データコメント :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・円偏波、垂直偏波共に同じような変化をしている。 ・垂直偏波 - 垂直偏波回線が、垂直偏波 - 円偏波回線より、5dB 以上高い。偏波面ロスを考慮すると 3dB 程度高い。 ・RSSI が安定しているときのレベル差が大きい。 <p><u>2. 10 月 4 日分データコメント</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・8 時、16 時頃の RSSI が落ち込んでいる時のレベル差は他の時間と比較して小さい。 	
<p>測定データ :</p> <p style="text-align: center;">肥後長浜 10月4日</p>	

表 3.3.17 偏波面測定結果

日程 : 平成 21 年 10 月 8 日	測定データ : 図 3.3.11
試験構成図 肥後長浜局 	試験概要 : 偏波面測定 肥後長浜局（上段垂直偏波）の偏波面を回転させて、NTT 島原白土局（上段円偏波）で受信した RSSI を測定する。 偏波面の軸、RSSI 差との関係を調査する。
収集データ : NTT 島原白土局 RSSI (肥後長浜局の偏波面を回転させたとき)	
コメント : <ul style="list-style-type: none"> 水平方向に長軸がある楕円偏波特性であった。 水平方向と垂直方向のレベル差が最大 10dB 程度あった。 長軸の角度や軸比は多少変化した。 	
測定結果 :	

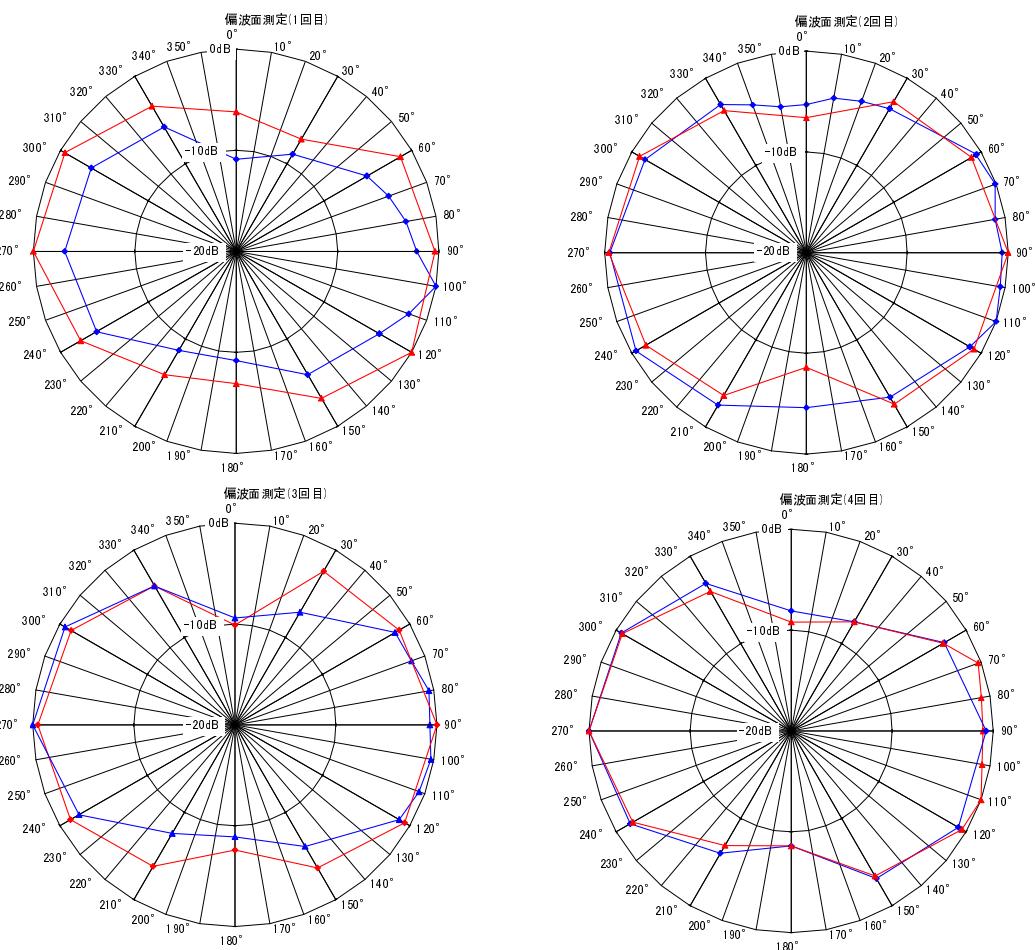


図 3.3.11 偏波面測定値

水平方向の $90^\circ \sim 100^\circ$ 近辺で RSSI が最大になり、垂直方向の $0^\circ \sim 20^\circ$ 近辺で RSSI が最小になる橙円の特性が得られた。その差は、5dB から 11dB 程度であった。

表 3.3.18 測定結果および測定時の気象条件

項目	1回目		2回目		3回目		4回目	
測定時刻	11:40 から		15:00 から		16:00 から		17:40 から	
最大 RSSI [dBm]	-69.0	-72.1	-64.5	-65.4	-64.9	-66.2	-66.9	-67.1
最大レベル差 [dB]	10.9	7.2	5.3	8.6	10.1	9.4	8.6	9.2
長軸の傾き	100°		90°		90°		90°	
潮位（三角）	-100cm		50cm		100cm		160cm	
海水温（長浜）	23.5°		23.8°		23.8°		23.7°	
気温（三角、島原）	$21.1^\circ, 22.1^\circ$		$21.1^\circ, 21.7^\circ$		$21.4^\circ, 21.8^\circ$		$19.7^\circ, 19.9^\circ$	
平均風速（三角、島原）	1.9m、1.8m		3.3m、3.3m		3.8m、4.5m		3.0m、4.5m	
最大風速（三角、島原）	4.2m、4.4m		6.8m、6.1m		6.9m、9.5m		7.4m、7.8m	

3.4 集中豪雨等による降雨減衰特性評価試験

(1) 概要

近年、地球温暖化の影響といわれる短時間での集中豪雨いわゆる「ゲリラ豪雨」が多発している。一般的に無線通信において、10GHz 帯以上の周波数では、降雨による減衰の影響があるが、5GHz 帯は、影響が少ないといわれている周波数である。

しかし、実用 20km という長距離での伝搬路における集中豪雨の直接の影響を確認し、ほかに間接的な別要因との影響を含めた相乗的な現象、影響について把握し、夏季の長期間の電波伝搬試験を通じ、梅雨、夏のゲリラ豪雨、台風等での集中豪雨による降雨減衰特性を調査する。

また、今回、自由空間の電波伝搬路の降雨による減衰を考察すると同時に、降雨によるアンテナ本体への水滴付着現象も降雨減衰の要因として考えられることから、水滴付着の影響も調査する。

なお、本試験の集中豪雨の定義としては、時間雨量 120mm (2mm/分) の降水量を想定し、また、時間雨量 60mm (1mm/分) の降水量も併せて検討する。

(2) 降雨減衰モデルについて

ア 電波伝搬空間の降雨減衰量

降雨減衰は、空中の雨滴による電波の吸収あるいは散乱による減衰である。雨滴あるいは雨滴間隔に比べて波長が十分長い場合は、影響がない。第2章の「2.9 降雨減衰」で計算したとおり、図2.9.1より、本試験に使用する5GHz帯距離20kmにおいて

- ① 試験区間全体で時間雨量 60mmの降雨があった場合、2dB程度の降雨減衰が見込まれる。
- ② 試験区間全体で時間雨量 120mmの降雨があった場合、12dB程度の降雨減衰が見込まれる。

イ アンテナへの水滴付着による減衰量

本試験で使用するアンテナは、パラボラアンテナであり、平面アンテナやレドームを使用したアンテナと比較して、一次放射器に雨が直接降りつけられ、雨滴による電圧定在波比(VSWR: Voltage Standing Wave Ratio)の悪化や反射面の散乱などの影響も考えられる。本試験において、日本電業工作様ご提案の「5GHz0.6mφパラボラアンテナ散水試験2」および「5GHz0.6mφパラボラアンテナ散水試験3」を参考に降雨減衰モデルを考えた。

散水試験は、想定する降雨量の水を図3.4.1のように本試験に使用する同じ型のパラボラアンテナに直接散水した。

散水試験の結果、

- ① 時間雨量 60mmで、アンテナへの水滴付着による減衰量は、1.5dB程度であった。
対向で、3.0dB程度の減衰が見込まれる。
- ② 時間雨量 120mmで、アンテナへの水滴付着による減衰量は、2.0dB程度であった。
対向で、4.0dB程度の減衰が見込まれる。

図3.4.1、図3.4.2にアンテナ散水試験の写真を示す。



図3.4.1 アンテナ散水試験（近景）

（日本電業工作株式会社提供）



図3.4.2 アンテナ散水試験（遠景）

（日本電業工作株式会社提供）

なお、散水試験の結果、円偏波と直線偏波の降雨減衰量は、同程度であった。図 3.4.3 に直線偏波アンテナの散水試験結果（100mm/h）を図 3.4.4 に円偏波アンテナの散水試験結果（100mm/h）を示す。



図 3.4.3 直線偏波アンテナの散水試験結果
(降水量 100mm/h)
(日本電業工作株式会社提供)

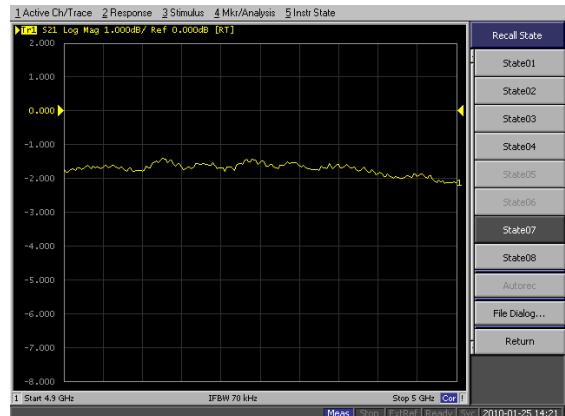


図 3.4.4 円偏波アンテナの散水試験結果
(降水量 100mm/h)
(日本電業工作株式会社提供)

ウ 降雨減衰モデル

ア 電波伝搬空間の降雨減衰量とイ アンテナへの水滴付着による減衰量を考慮して、本試験の降雨減衰モデルは、
電波伝搬空間の降雨減衰量 + アンテナへの水滴付着による減衰量 (2つのアンテナ)
と考える。

その結果、

- ① 時間雨量 60mmでは、 $2\text{dB}+1.5\text{dB} \times 2 = \underline{\text{5dB}}$ 程度の降雨減衰量が考えられる。
- ② 時間雨量 120mmでは、 $12\text{dB}+2\text{dB} \times 2 = \underline{\text{16dB}}$ 程度の降雨減衰量が考えられる。

エ 降雨減衰モデルを考慮した場合の回線信頼性

本試験におけるスレッシュホールドは、-87dBm であるため、降雨減衰量を考慮した場合、

- ① 時間雨量 60mmの場合、降雨減衰量が 5dB であるため、RSSI は-82dBm より高い値が必要である。
- ② 時間雨量 120mmの場合、降雨減衰量が 16dB であるため、RSSI は-71dBm より高い値が必要である。

公称速度から求めた実効速度の RSSI は、-74dBm であるため、降雨減衰量を考慮した場合、

- ① 時間雨量 60mmの場合、降雨減衰量が 5dB であるため、RSSI は-69dBm より高い値が必要である。
- ② 時間雨量 120mmの場合、降雨減衰量が 16dB であるため、RSSI は-55dBm より高い

値が必要である。

※RSSI:-87dBm は、本試験（伝送速度約 9Mbps）のスレッシュホールドである。

※RSSI:-74dBm は、5GHz 帯無線アクセスシステムの公称速度 24Mbps（実効速度約 12Mbps：高画質映像伝送に必要と思われる実効速度）の必要受信電力である。

図 3.4.5 に本試験の肥後長浜局上段アンテナ-NTT 島原白土局上段アンテナ回線の CDF を示し、降雨減衰を考慮した回線信頼度を図から求める。なお、図の CDF は、アンテナ間離隔 4m の S D 構成の場合の CDF である。（図の CDF は、第 4 章の図 4.3.1 を参照）

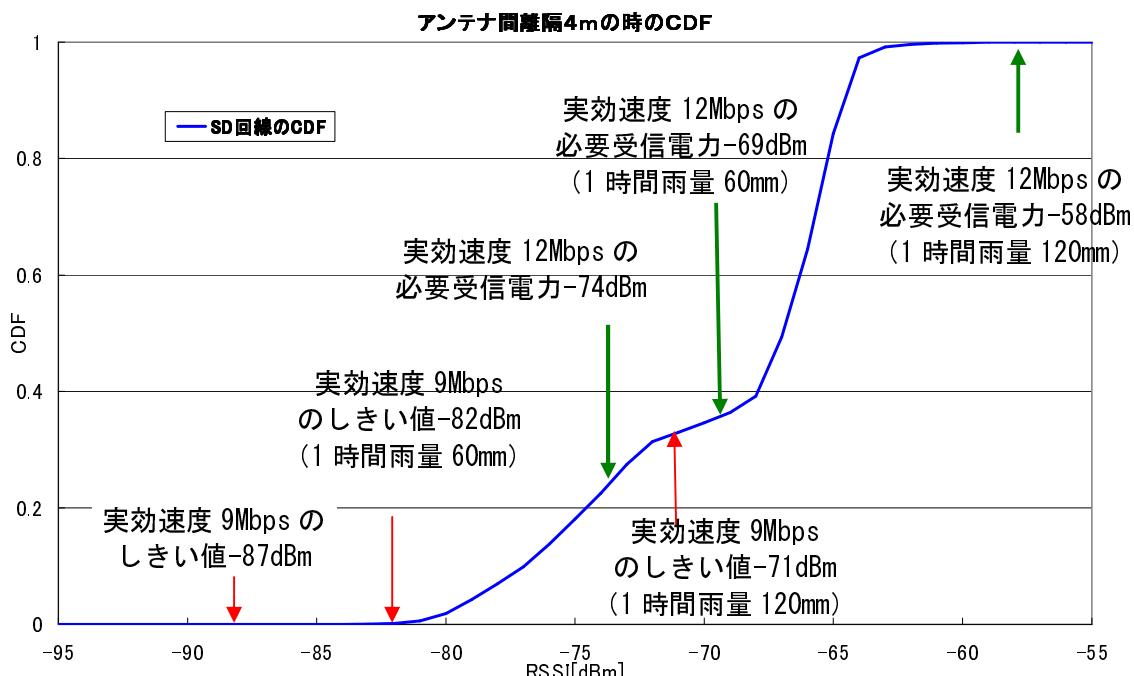


図 3.4.5 CDF から求めた回線信頼度

実効速度約 9Mbps の回線信頼度（しきい値-87dBm）は、

- ① -87dBm の CDF は、0 である。回線信頼度は、100% である。
- ② 時間雨量 60mm の時のしきい値-82dBm の CDF は、0 である。回線信頼度は、100% である。
- ③ 1 時間雨量 120mm の時のしきい値-71dBm の CDF は、0.33 である。回線信頼度は、67% である。

実効速度約 12Mbps の回線信頼度（必要受信電力-74dBm）は、

- ① -74dBm の CDF は、0.22 である。回線信頼度は 78% である。
- ② 時間雨量 60mm の時の必要受信電力-68dBm の CDF は、0.36 である。回線信頼度は 64% である。
- ③ 時間雨量 120mm の時の必要受信電力-58dBm の CDF は、1 である。回線信頼度は 0% である。

累積分布関数（CDF）について

4カ月にわたる試験期間中、膨大なデータが収集された。潮位や降雨量などの気象・海象データと受信レベル(RSSI)の相関関係から、長距離海上電波伝搬の特性の検討を行う。回線評価のために、累積分布関数（Cumulative Distribution Function：以下「CDF」という。）での分析を加える。

CDF分析では、各回線のRSSIの分布を定量的に表現することから、回線毎のCDFを比較することにより、各回線の比較が可視化できるという利点がある。

CDFとは、あるRSSIの値 x より小さいRSSIの値が、測定期間に現れた割合を表している。

CDFで評価すると回線の質が定量的に表現でき、回線毎のCDFを比較、評価することで、各回線の特徴が見えてくる。

CDFのグラフの見方はつきのとおりである。（図1）

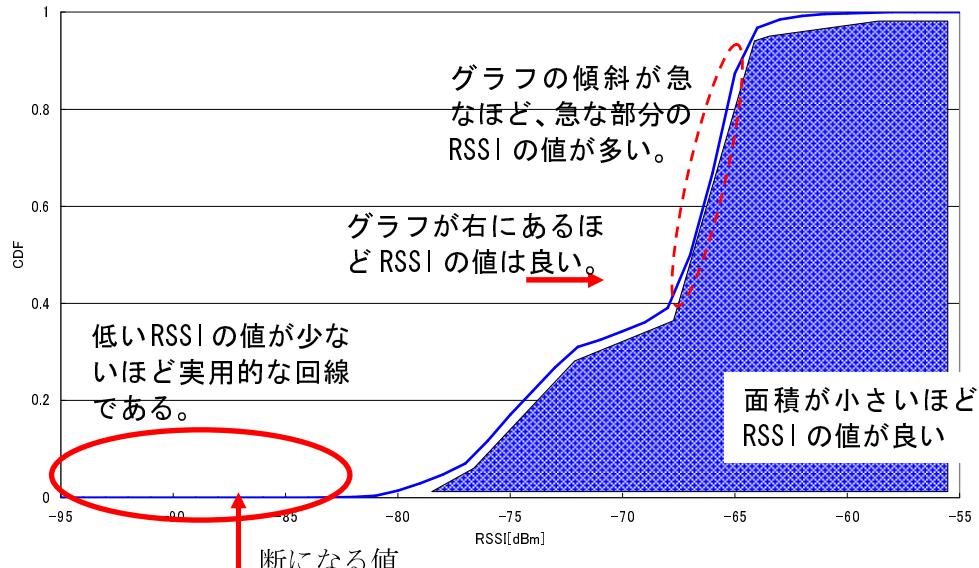


図1 CDFの評価例

グラフの横軸がRSSIの数値であり、縦軸がCDF（期間中に任意のRSSI値が出現する確率）である。見方として、横軸が右側にいくほどRSSIの値は良いことから、右側の面積が小さいほどRSSIの値は良く安定性のある回線といえる。

回線が断になるRSSIのCDFの値が小さいほど、回線信頼度は高い。例えば、回線断になるRSSIのCDFの値が0.1の時、90%の回線信頼度がある。また、回線断になるRSSIのCDFの値が0.01の時、99%の回線信頼度がある。

グラフの傾斜が急な部分は、その付近のRSSI値のデータが多いことを示している。つまり、-67dBm以上の値のデータが全体の期間の約60%を占めていることになる。

また、低いRSSIの値が少ないほど実用的な回線といえる。

(3) 試験期間中の集中降雨概況

試験期間中の天候は、該当期間の気象庁発表の概要から、

ア 気象庁発表の夏（6～8月）の天候

「平成21年7月中国・九州北部豪雨」の発生など、各地で大雨前線や低気圧、湿った気流や台風の影響により各地で大雨が降った。7月19日から26日にかけては西日本で梅雨前線の活動が非常に活発化し、中国・九州北部地方で豪雨が発生した。また、8月8日から11日にかけては台風第9号がもたらした暖かく湿った空気により、西日本を中心に記録的な大雨となった。

夏の降水量は、北日本と西日本日本海側で多かった

この時期としては低気圧が発達しながら通過することが多かった北日本と「平成21年7月中国・九州北部豪雨」が発生した西日本日本海側では、夏の降水量は多かった。」

イ 気象庁発表の秋（9～11月）の天候

「秋を通じて天気は数日の周期で変わりことが多かったが、9月は全国的に高気圧に覆われ晴れた日が多く日照時間が多かった。9月の降水量は全国的にかなり少なく、東・西日本を中心に記録的な少雨となった。一方、10月は、上旬に台風第18号が本州に上陸し（日本への上陸は2007年9月以来2年ぶり）、沖縄地方から北海道にかけての広い範囲で暴風や大雨となった影響で10月の月降水量が多くなった。

秋の降水量は、沖縄・奄美で多かった。一方。北日本から東日本にかけての日本海側では少なく、北日本から東日本にかけての太平洋側と西日本では平年並みだった。」

ウ 試験地域の天候

概況および雨量計データより、試験地域での集中豪雨の概況は、

- ① 7月25日、26日に試験地域でも集中豪雨があった。（7月25日11時前に肥後長浜局で、時間雨量換算で、90mm程度の雨が降った。）
- ② 9月はほとんど雨が降らなかった。
- ③ 台風18号が、10月7日、8日に日本上陸したが、試験地域では雨がそれほど降らなかった。

参考 URL

気象庁 報道発表資料

<http://www.jma.go.jp/jma/press/index21.html>

(4) 測定方法

試験構成図を図 3.4.6 に示す。

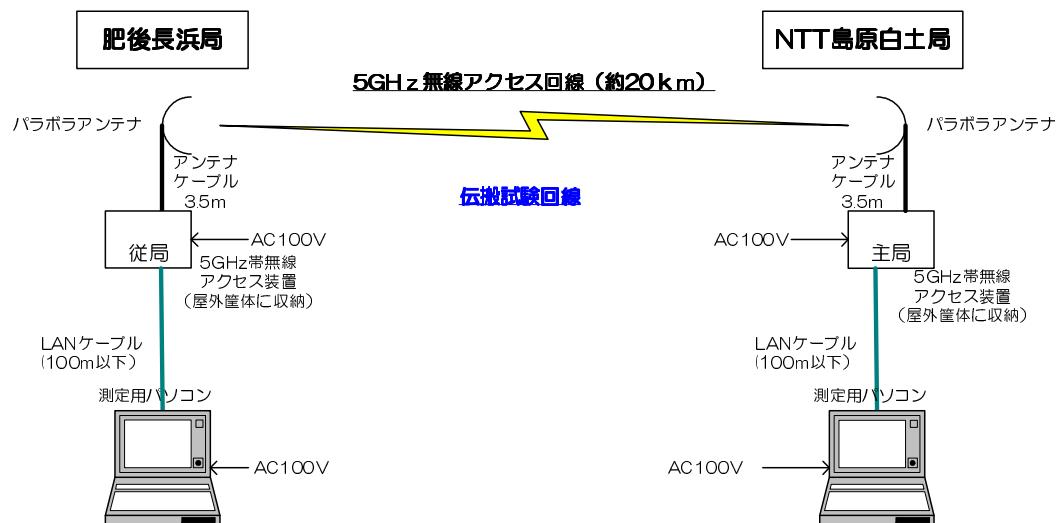


図 3.4.6 試験期間①～⑯の試験構成図

このとき、主局側に接続した測定用パソコンで、受信レベル、通信レート、パケットエラー率を測定し、従局側に接続した測定用パソコンで、RSSI を測定した。

また、肥後長浜局と NTT 島原白土局に、雨量計を設置し、降水量を調査した。

表 3.4.1 に機器構成を、表 3.4.2 に仕様を示す。

表 3.4.1 機器構成

No.	項目	型名	メーカー	数量	備考
1	5GHz 帯無線アクセス装置	JRL-749AP1 JRL-749ST1	日本無線	2 台	
2	パラボラアンテナ	06AA-050RNCA	日本電業工作	4 基	円偏波
3	パラボラアンテナ	06AA-050SNCA	日本電業工作	1 基	垂直偏波
4	パラボラアンテナ	06AA-050SNCA		1 基	水平偏波
5	アンテナケーブル			4 本	3.5m
6	アンテナケーブル			2 本	10m
7	パソコン			3 台	測定用
8	雨量計			2 台	



図 3.4.7 肥後長浜局雨量計



図 3.4.8 肥後長浜局記録器

表 3.4.2 仕様

No.	項目	仕様
1	5GHz 帯無線アクセス装置	
-1	周波数	5GHz 帯 (4.9~5.0GHz)
-2	伝送容量	6/7/12/18/24/36/48/54Mbps
-3	変調方式	OFDM
-4	送信出力	20mW 以下
-5	アンテナ端子	2 個
-6	インターフェース	Ethernet (10/100BASE-T)
-7	その他	無線規格 : IEEE802.11j 準拠
2	パラボラアンテナ	
-1	アンテナ利得	24.0dBi
-2	半值角	約 7° ~8°
3	アンテナケーブル	
-1	ケーブル長	3.5m/10m
-2	ケーブル損失	2dB/2.2dB



図 3.4.9 NTT 島原白土局雨量計



図 3.4.10 NTT 島原白土局記録器

(5) 測定データ

降雨減衰評価の試験期間と試験構成一覧表を表 3.4.3 に示し、表 3.4.4 に集中豪雨時の降雨減衰評価結果を示す。

また、図 3.4.11 から図 3.4.17 に集中豪雨の時の降水量と RSSI を示す。

表 3.4.3 降雨減衰評価の試験期間と試験構成一覧表

試験番号	期間	測定方法	主局	無線機	アンテナ		従局	無線機	アンテナ	
					位置	偏波面			位置	偏波面
①	7/1-7/6	送受信 RSSI（中段）測定	長浜	1	中段	円	島原	2	上段 下段	円 円
②	7/7-7/13	送受信 RSSI（下段）測定	長浜	1	下段	円	島原	2	上段 下段	円 円
③	7/14-7/21	送受信 S D 測定	長浜	1	中段 下段	円 円	島原	1	上段 下段	円 円
④	7/24-7/31	送受信 S D 測定	長浜	1	上段 中段	円 円	島原	1	上段 下段	円 円
⑤	8/2-8/8	送受信 RSSI（上段）測定	長浜	1	上段	円	島原	2	上段 下段	円 円
⑥	8/9-8/17	送受信 RSSI（上段、中段）測定	島原	1	上段	円	長浜	2	上段 中段	円 円
⑦	8/18-8/30	送受信 RSSI（上段、下段）測定	島原	1	上段	円	長浜	2	上段 下段	円 円
⑧	9/1-9/16	送受信 RSSI（上段、中段）測定	島原	1	上段	円	長浜	2	上段 中段	円 円
⑨	9/19-9/23	偏波ダイバーシティ測定	島原	1	上段	円	長浜	2	上段	垂直 水平
⑩	9/25-9/27	偏波ダイバーシティ（円偏波、水平偏波）測定	島原	1	上段	円	長浜	2	上段	円 水平
⑪	9/28-9/29	偏波ダイバーシティ（円偏波、垂直偏波）測定	島原	1	上段	円	長浜	2	上段	円 垂直
⑫	9/29-10/6	偏波ダイバーシティ測定（予備試験）	島原	1	上段	垂直	長浜	2	上段	垂直 円
⑬	10/7-10/12	1 対向（垂直偏波）測定	島原	1	上段	垂直	長浜	1	上段	垂直
⑭	10/15-10/19	受信 S D 測定	島原	1	上段	円	長浜	2	上段 中段	円 円
⑮	10/23-10/28	1 対向（水平偏波）測定	島原	1	上段	水平	長浜	1	上段	水平

表 3.4.5 集中豪雨時の降雨減衰評価結果

日程 : 平成 21 年 7 月 1 日～10 月 29 日	測定データ番号 : 図 3.4.11～図 3.4.17
<p>試験構成図</p>	<p>試験概要 : 集中豪雨時の降雨減衰評価</p> <p>肥後長浜局～NTT 島原白土局の回線の RSSI を測定する。</p> <p>雨量計の雨量データと比較して、集中豪雨時の降雨減衰量を調査する。</p> <p>収集データ :</p> <ul style="list-style-type: none"> 肥後長浜局 RSSI、雨量データ NTT 島原白土局 RSSI、雨量データ
<p><u>1. 期間中データコメント :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 時間雨量 60mm 以上の雨は、試験期間中 7 回あった。 RSSI が安定していないため、単純な降雨減衰量の判断が難しい。 	
<p><u>2. 7 月 25 日分データコメント :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 肥後長浜局にて、時間雨量 90mm 程度の雨が 20 分間記録された。(島原では、降雨記録なし。) この時に、10dB の RSSI の低下があったが、降雨時以外にも 10dB 以上 RSSI が落ちているため、単純に降雨による減衰かは不明である。 	
<p>測定データ :</p>	

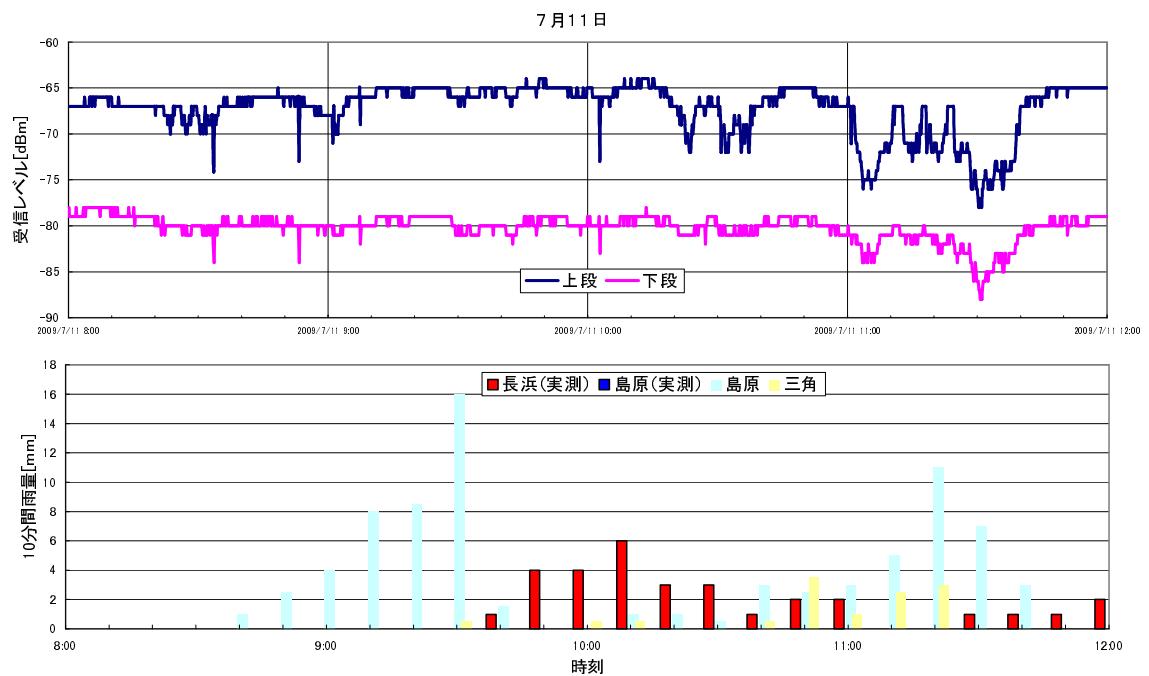


図 3.4.11 7月11日のRSSIと降水量

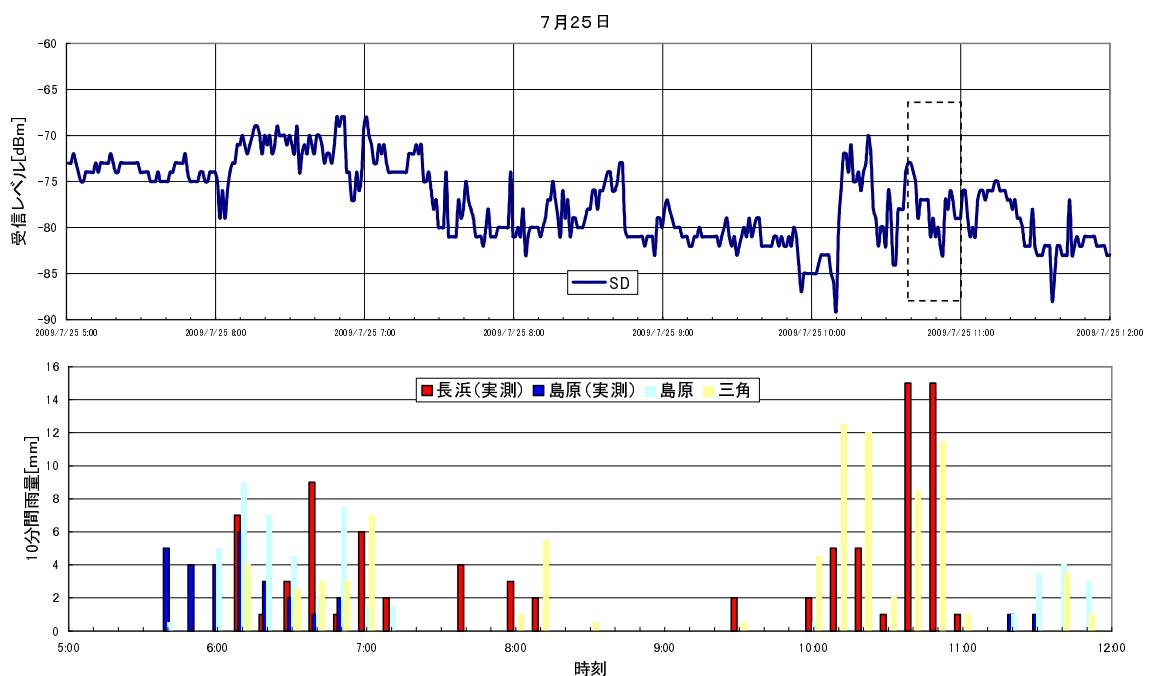


図 3.4.12 7月25日のRSSIと降水量

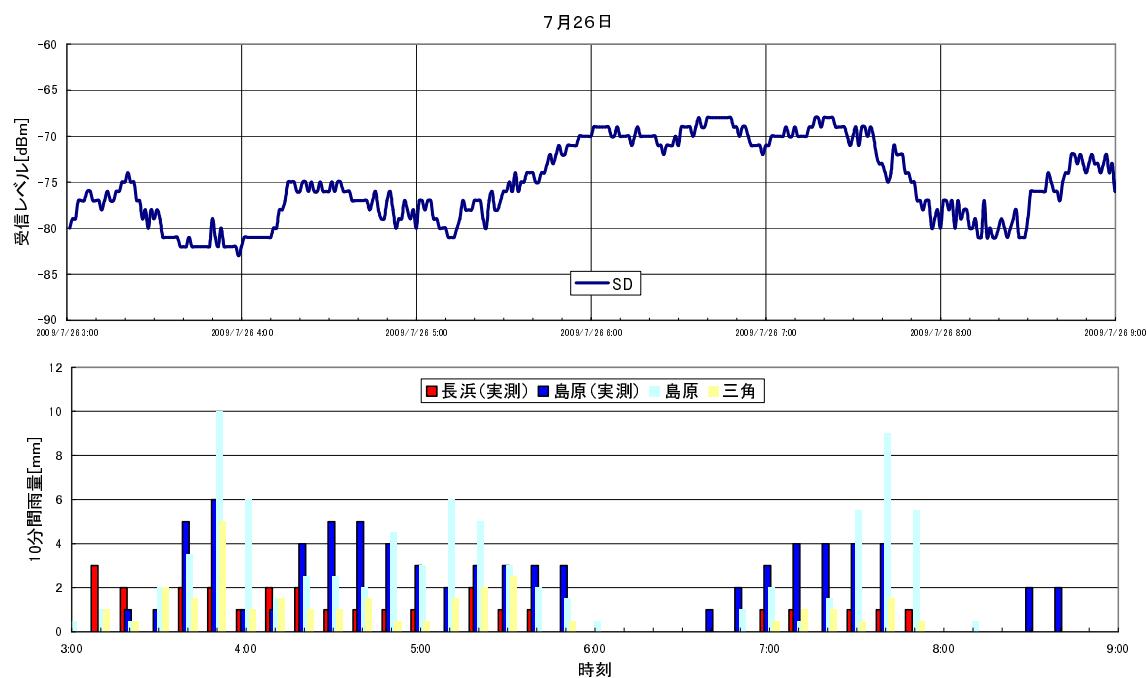


図 3.4.13 7月26日のRSSIと降水量

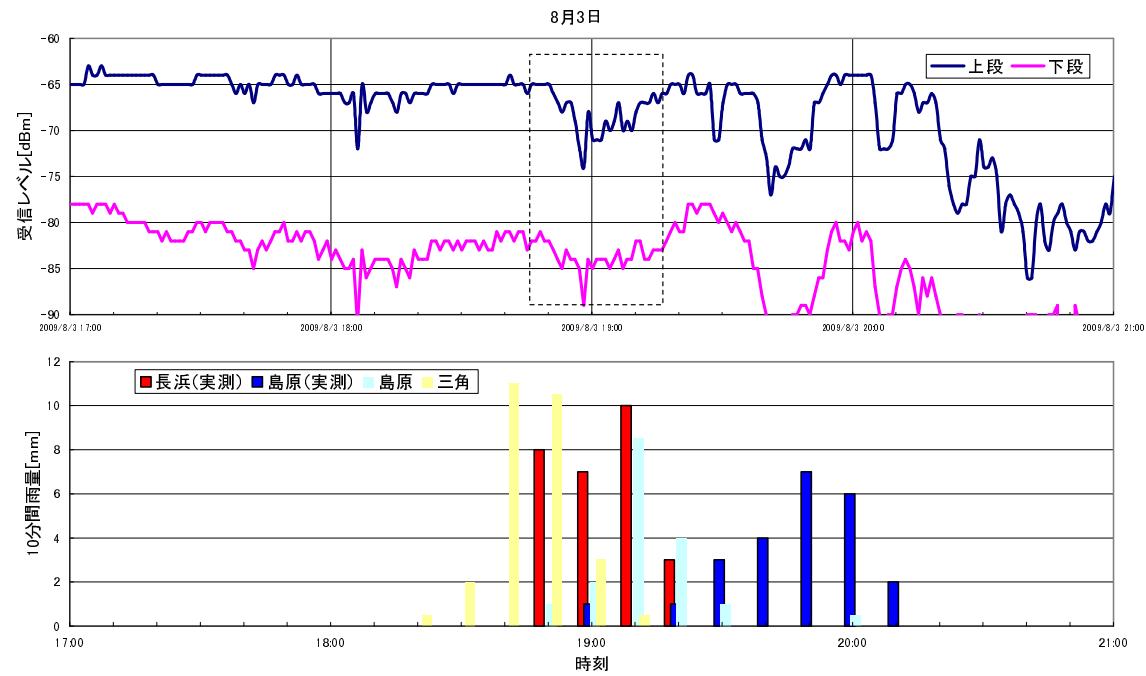


図 3.4.14 8月3日のRSSIと降水量

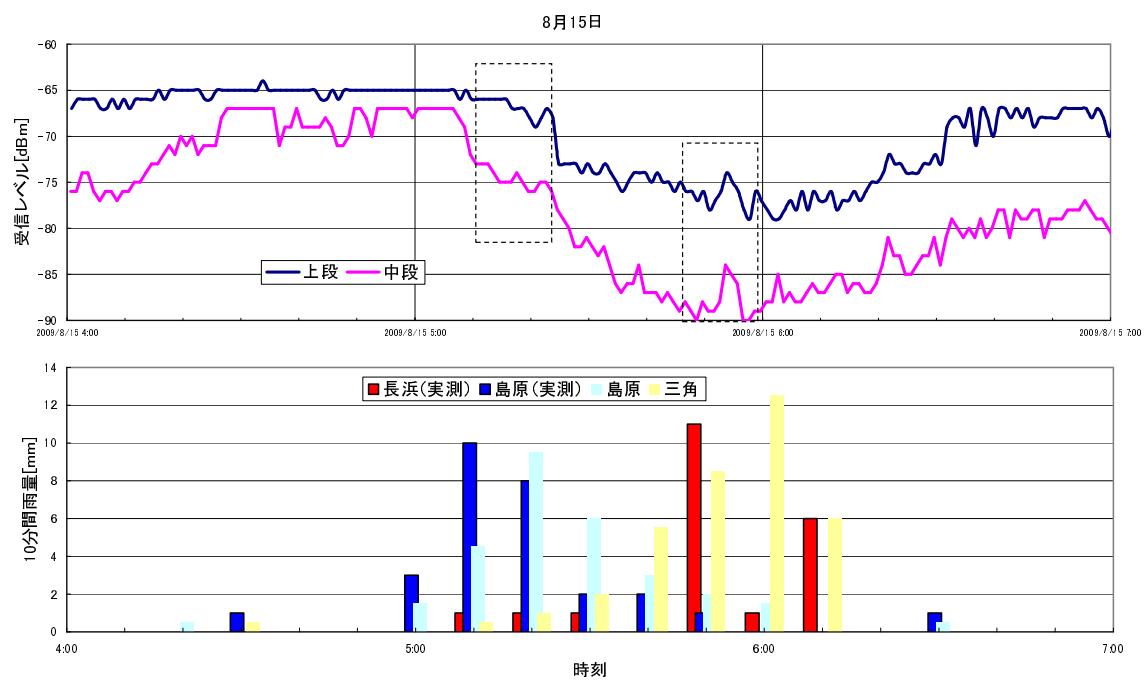


図 3.4.15 8月15日のRSSIと降水量

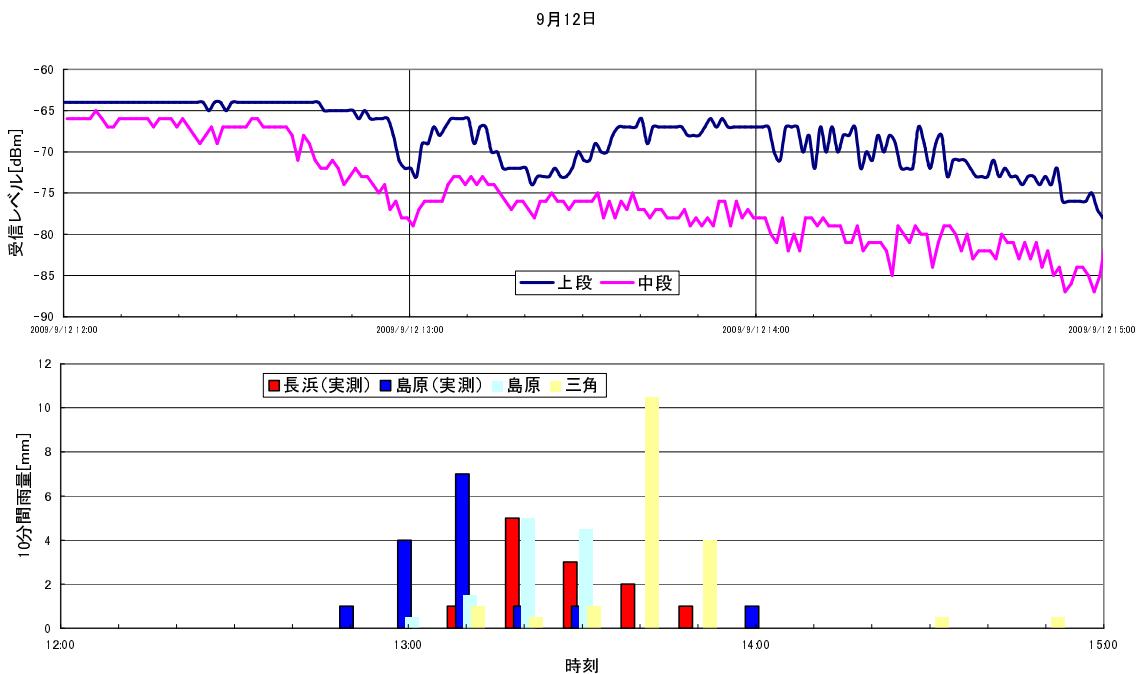


図 3.4.16 9月12日のRSSIと降水量

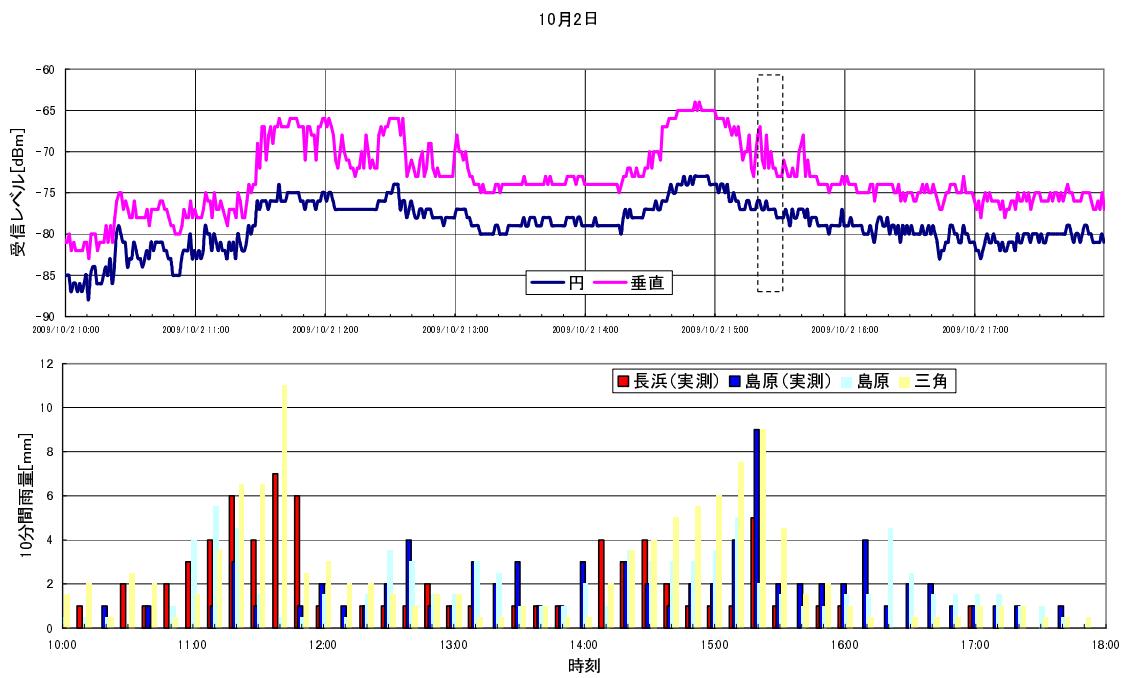


図 3.4.17 10月2日のRSSIと降水量

島原と三角の10分間雨量は、気象庁のデータを参照した。また、長浜（実測）と島原（実測）は、現地に雨量計を設置し、観測した。

3.5 通信品質評価試験

(1) 概要

離島等の通信路として、ブロードバンドに対応可能かを調査するために、実効速度を求めて、更に、映像伝送を行い、5GHz 帯無線アクセスシステムの通信路としての品質を評価する。

(2) 測定方法

FTP による実効速度の測定と、実際に映像を伝送させる評価を行う。また、パケットロスを長距離海上電波伝搬特性試験期間中に測定したパケットロスを調査し、評価する。

ア FTP 評価試験

図 3.5.1 に FTP 評価試験の構成図を示す。

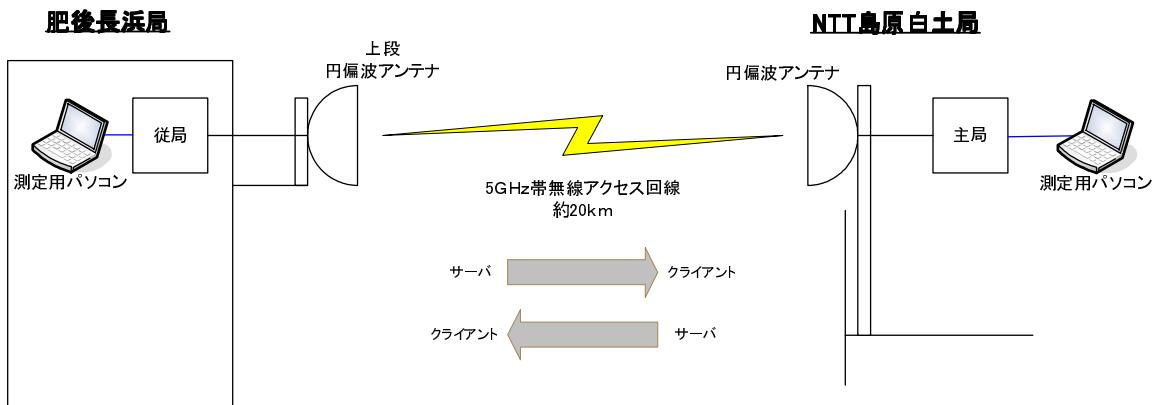


図 3.5.1 FTP 評価試験の構成図

- ① lperf を利用して、肥後長浜局をサーバにして、NTT 島原白土局をクライアントにして実効速度を測定する。
- ② 逆方向の実効速度を測定するために、NTT 島原白土局をサーバにして、肥後長浜局をクライアントにして行う。
- ③ 通信速度設定は、伝搬試験を行った 18Mbps から最大値の 54Mbps に順次上げていく。
※lperf (アイパーフ) は、ネットワークのスループットを測定するためのフリーソフトウェアである。

表 3.5.1 に機器構成を、表 3.5.2 に仕様を示す。

表 3.5.1 機器構成

No.	項目	型名	メーカー	数量	備考
1	5GHz 帯無線アクセス装置	JRL-749AP1 JRL-749ST1	日本無線	2 台	
2	パラボラアンテナ	06AA-050RNCA	日本電業工作	2 基	円偏波
3	アンテナケーブル			2 本	3.5m
4	パソコン			2 台	測定用

表 3.5.2 仕様

No.	項目	仕様
1	5GHz 帯無線アクセス装置	
-1	周波数	5GHz 帯 (4.9~5.0GHz)
-2	伝送容量	6/7/12/18/24/36/48/54Mbps
-3	変調方式	OFDM
-4	送信出力	20mW 以下
-5	アンテナ端子	2 個
-6	インターフェース	Ethernet (10/100BASE-T)
-7	その他	無線規格 : IEEE802.11j 準拠
2	パラボラアンテナ	
-1	アンテナ利得	24.0dBi
-2	半值角	約 7° ~8°
3	アンテナケーブル	
-1	ケーブル長	3.5m
-2	ケーブル損失	2dB

イ 映像伝送評価試験

図 3.5.2 に映像伝送評価の構成図を示す。

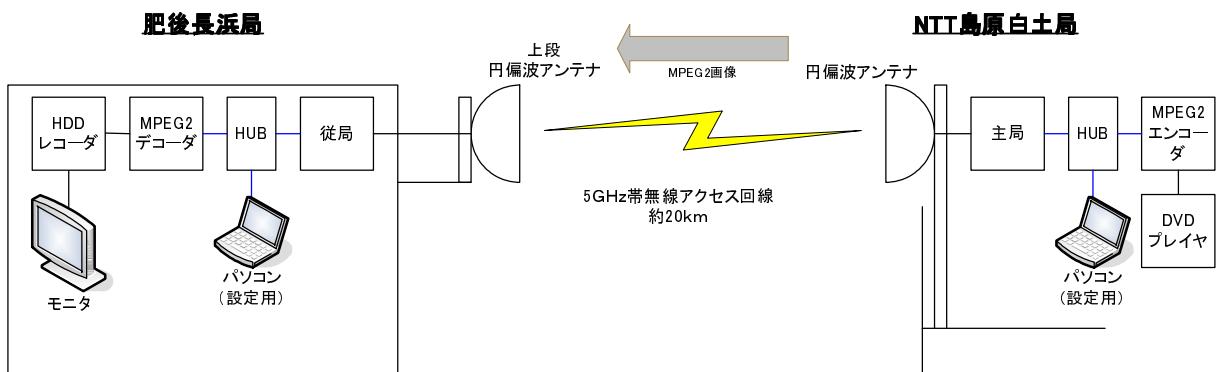


図 3.5.2 映像伝送評価の構成図

- ① NTT 島原白土局にて、D V D の映像を再生する。
- ② MPEG2 エンコーダにて、6Mbps 圧縮の MPEG2 に符号化する。
- ③ 無線機を通し、肥後長浜局に送信する。無線機の設定は、通信速度 18Mbps (変調方式は、QPSK) で設定した。
- ④ 受信した映像をMPEG2 デコーダにて復号化する。
- ⑤ モニタにて、映像を観察する。また、HDD レコーダにて、映像を録画する。
- ⑥ 送信側にアッテネーターを挿入し、映像の変化を観測する。

表 3.5.3 に機器構成を、表 3.5.4 に仕様を示す。

表 3.5.3 機器構成

No.	項目	型名	メーカー	数量	備考
1	5GHz 帯無線アクセス装置	JRL-749AP1 JRL-749ST1	日本無線	2 台	
2	パラボラアンテナ	O6AA-050RNCA	日本電業工作	2 基	円偏波
3	アンテナケーブル			2 本	3.5m
4	HUB			2 台	
5	DVD プレーヤ	DV-525	パイオニア	1 台	
6	MPEG2 エンコーダ	CDC-4134A	日本無線	1 台	
7	MPEG2 デコーダ	CDC-4134A	日本無線	1 台	
8	モニタ	LC-13S4-S	シャープ	1 台	
9	HDD レコーダ	DV-DH250S	日立	1 台	

表 3.5.4 仕様

No.	項目	仕様
1	5GHz 帯無線アクセス装置	
-1	周波数	5GHz 帯 (4.9~5.0GHz)
-2	伝送容量	6/7/12/18/24/36/48/54Mbps
-3	変調方式	OFDM
-4	送信出力	20mW 以下
-5	アンテナ端子	2 個
-6	インターフェース	Ethernet (10/100BASE-T)
-7	その他	無線規格 : IEEE802.11j 準拠
2	パラボラアンテナ	
-1	アンテナ利得	24.0dBi
-2	半値角	約 7° ~8°
3	アンテナケーブル	
-1	ケーブル長	3.5m
-2	ケーブル損失	2dB
4	MPEG2 エンコーダ	
-1	映像信号方式	NTSC
-2	符号化方式	MPEG2 VIDEO
-3	通信仕様	10BASE-T/100BASE-TX × 1 ポート
5	MPEG2 デコーダ	
-1	映像信号方式	NTSC
-2	復号対象符号化方式	MPEG2 VIDEO
-3	通信仕様	10BASE-T/100BASE-TX × 1 ポート
6	DVD プレーヤ	
-1	再生可能ディスク	DVD ビデオ、ビデオ CD、音楽 CD
-2	コンポーネント映像出力	1 系統
7	モニタ	
-1	画像サイズ	13 型
-2	ビデオ入力	2 系統
8	HDD レコーダ	
-1	録画可能ディスク	DVD-RAM、DVD-RW、DVD-R
-2	映像出力端子	3 系統

ウ パケットロス評価

主局側測定パソコンにて、全送信パケット数と送信成功パケット数を測定し、パケットエラー率を計算する。

表 3.5.5 に機器構成を、表 3.5.6 に仕様を示す。

表 3.5.5 機器構成

No.	項目	型名	メーカー	数量	備考
1	5GHz 帯無線アクセス装置	JRL-749AP1 JRL-749ST1	日本無線	2 台	
2	パラボラアンテナ	06AA-050RNCA	日本電業工作	4 基	円偏波
3	パラボラアンテナ	06AA-050SNCA	日本電業工作	1 基	垂直偏波
4	パラボラアンテナ	06AA-050SNCA	日本電業工作	1 基	水平偏波
5	アンテナケーブル			4 本	3.5m
6	アンテナケーブル			2 本	10m
7	パソコン			1 台	測定用

表 3.5.6 仕様

No.	項目	仕様
1	5GHz 帯無線アクセス装置	
-1	周波数	5GHz 帯 (4.9~5.0GHz)
-2	伝送容量	6/7/12/18/24/36/48/54Mbps
-3	変調方式	OFDM
-4	送信出力	20mW 以下
-5	アンテナ端子	2 個
-6	インターフェース	Ethernet (10/100BASE-T)
-7	その他	無線規格 : IEEE802.11j 準拠
2	パラボラアンテナ	
-1	アンテナ利得	24.0dBi
-2	半值角	約 7° ~8°
3	アンテナケーブル	
-1	ケーブル長	3.5m/10m
-2	ケーブル損失	2dB/2.2dB

(3) 測定データ

ア FTP 評価試験

電波伝搬試験中の実効速度は、9Mbps (変調方式は、QPSK) であった。また、本試験区間における最大実効速度は、14Mbps (変調方式は、64QAM) であった。結果を表 3.5.7 に示す。

表 3.5.7 実効速度測定結果一覧表

通信速度設定	変調方式	最大実効速度
18Mbps	QPSK	9Mbps
24Mbps	16QAM	11Mbps
36Mbps	16QAM	13Mbps
54Mbps	64QAM	14.5Mbps

※無線機の伝送速度の設定を高くすると実効速度は高くなる。しかし、伝送速度が高くなると必要なD/U（希望波と妨害波の比）が大きくなる。伝送速度が遅い方が低いD/Uでも通信できる。つまり、マルチパス耐性や干渉波耐性が強くなる。

イ 映像伝送試験

送信側（NTT島原白土局側）にアンテナーターを挿入して、送信レベルを下げ、目視により映像を確認した。受信側（肥後長浜局側）のRSSIが-88dBに落ちたときには、MPEG2の映像は再生できなかった。また、画面がブラックアウトした状態から、アンテナーターを1dB外した状態で、映像は再生された。

結果を表3.5.8に示す。なお、通信速度の設定は、18Mbps（変調方式は、QPSK）である。

表3.5.8 画像伝送評価結果

設定	映像伝送の結果
通常時 (RSSI : -74dBm)	問題なく、きれいに映像を再生された。
アンテナーター挿入時 (RSSI : ~-87dBm)	問題なく、きれいに映像を再生された。
アンテナーター挿入時 (RSSI : -88dBm)	送信出力を下げた途端に画面が固まり、しばらくして、画面がブラックアウトになった。



図3.5.3 通常時 (RSSI ~-87dBm) の映像



図3.5.4 RSSI-88dBm 時の映像

引用：『ロード・オブ・ザ・リング/二つの塔』

配給：ニューラインシネマ、角川ヘラルド映画・松竹

DVD：ポニーキャニオン発売

ウ パケットロス評価

パケットロスの測定データは、パケットエラー率の表記で別冊に示す。

また、表 3.5.9 に、パケットエラー率が 10%以上発生した割合を示す。

パケット通信の場合は、測定が容易なパケットエラー率で回線品質を表すことが多い。必要な回線品質はシステムや通信プロトコルによって変わる。TCP/IP を使用したイーサネット LAN の場合は、パケット長 1000 バイトでパケットエラー率 10%以下でないとスムーズな通信ができない。パケット長 1000 バイトでパケットエラー率 10%を BER (Bit Error Rate) に換算すると概ね 10^{-5} になる。本試験では、パケットエラー率 10%以下を評価の目安とする。

表 3.5.9 パケットエラー率の発生割合

	期間	10%以上の パケットエラー率 発生割合[%]	備考
⑤	8/2-8/8	0.847	
⑥	8/9-8/17	0.842	
⑦	8/18-8/30	0.972	
⑧	9/1-9/16	0.668	
⑩	9/25-9/27	0.556	
⑪	9/28-9/29	0.128	
⑫	9/29-10/6	0.880	
⑬	10/7-10/12	0.000	
⑮	10/24-10/28	0.028	
全期間	8/2-10/28	0.675	

全試験期間のパケットエラー率が 10%を超えた割合は、約 0.7%であった。

※肥後長浜局の上段アンテナを使用していない①、②、③と SD での評価をしている③、④、⑯と偏波ダイバーシティ試験で、円偏波から直線偏波への変換損失のある⑨の期間は除外している。

なお、2.4GHz 帯無線 LAN においては、パケットエラー率が 20~30%程度発生しても通信速度の低下を起こさずに通信可能である。

第4章 信頼性のある長距離海上電波伝搬のための技術的要件

4.1 気象条件との関係

本試験を通じ、特に顕著に現れた現象は、つぎの3点である。

- ①夏季において、午前中は RSSI が安定しているが、午後に RSSI が激しく変動している。
(気温および海水温と RSSI との関係について)
 - ②風速が強いときに RSSI は安定している。(風速と RSSI の関係について)
 - ③潮位が高いときに、RSSI が落ち込んでいる。(潮位と RSSI の関係について)
- ①～③の関係について、考察を行う。

(1) 気温および海水温と RSSI の関係について

7月、8月、9月初旬の夏季期間において、午前中は、RSSI の変動は緩やかであるが、午後になると激しく変動することが多々あった。9月中旬以降では、RSSI が激しく変動することは少なくなっている。RSSI の激しい変動は、気温が高いとき、特に、海水温より気温が高いときに発生している。ここで、気温と海水温の関係と RSSI の変動について調査し、考察を行う。

ア 気温が海水温より低いとき、気温と海水温がほぼ同じとき

初めに、気温が海水温とほぼ同じ温度までしか上昇しないときの RSSI の変動について調べる。

図 4.1.1 と図 4.1.2 に気温が海水温とほぼ同じ温度までしか上昇しなかった 9月 23 日と 10月 3日の測定データを示す。

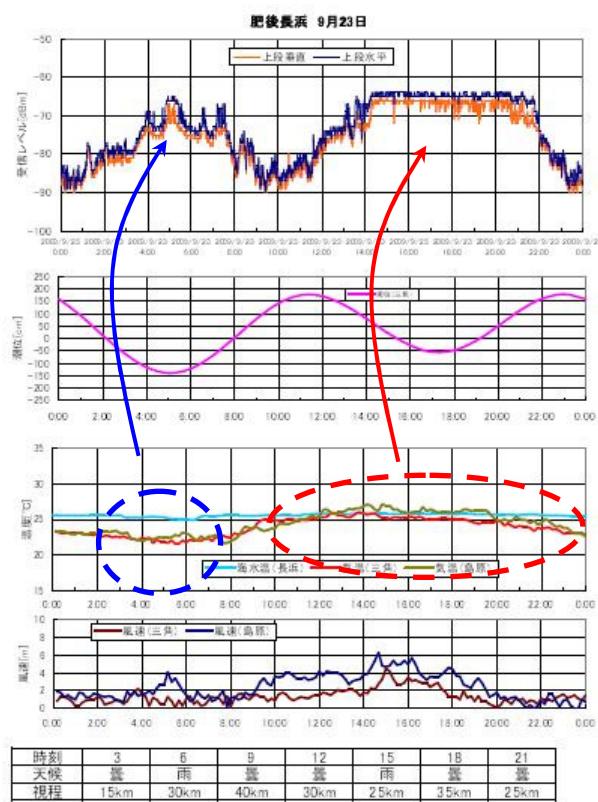


図 4.1.1 9月23日の測定データ

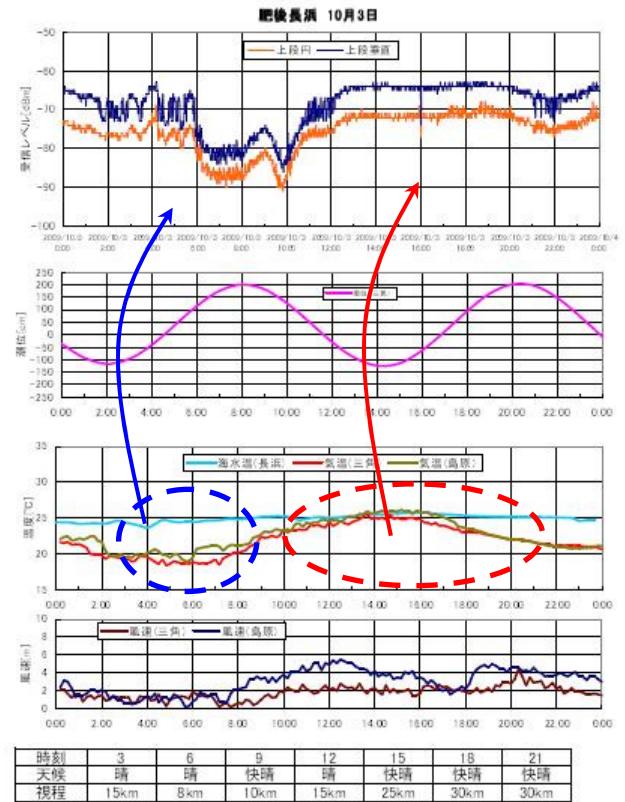


図 4.1.2 10月3日の測定データ

図の赤い破線部分のように、両日の気温と海水温は、午後に 25°C 程度と同じである。このときの RSSI は、2、3dB 程度の細かな変動はしているが、大きく上下には変動はしていない。

次に、気温が海水温より低いときの RSSI の変動を調べる。図の青い破線部分のように、海水温が気温より、5°C 程度高いとき、RSSI は、気温と海水温がほぼ同じときと異なり、5dB 程度の変動をしている。

このとき、海面上に水蒸気が発生しているためと思われる。

イ 気温が海水温より多少（3°C程度）高いとき

次に、気温が海水温より少し高いときの RSSI の変動について調べる。

図 4.1.3 と図 4.1.4 に気温が海水温より 2、3°C 高くなったときの 8月19日と9月16日の測定データを示す。

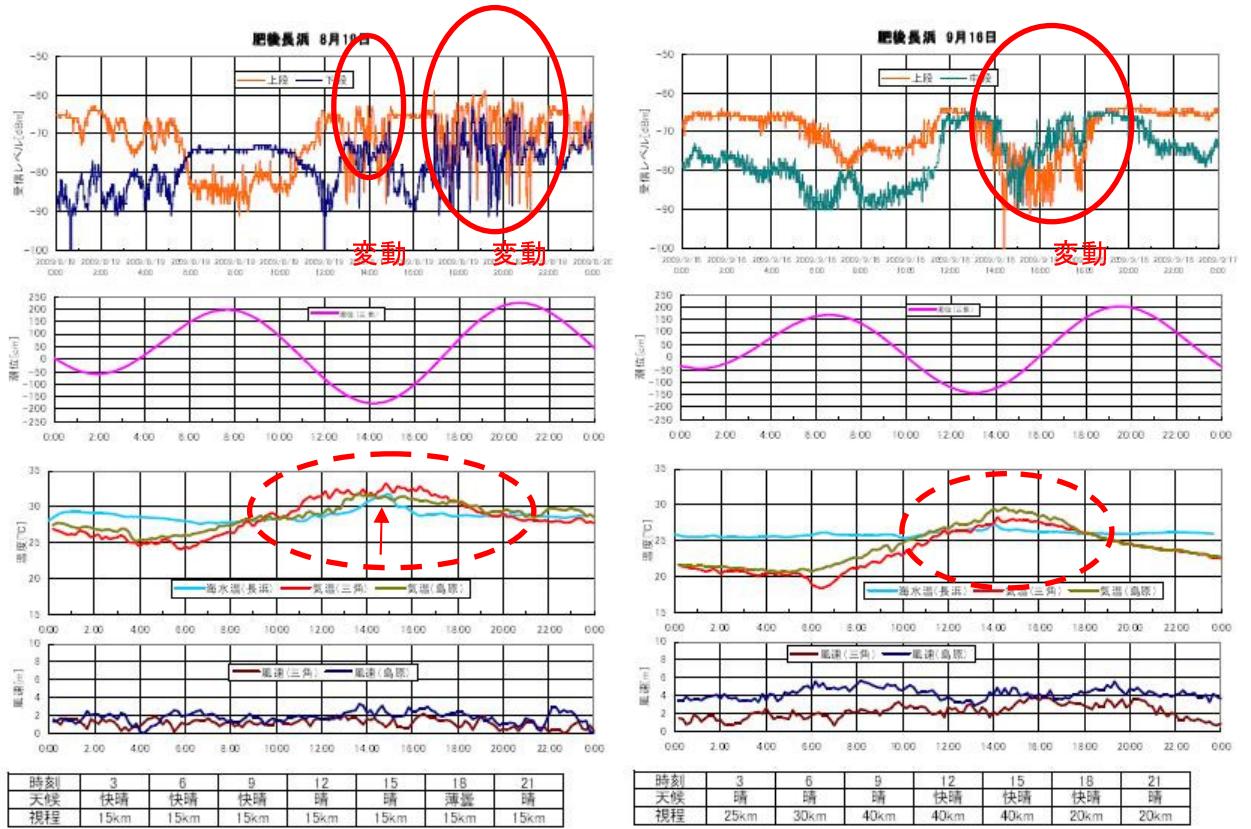


図 4.1.3 8月19日の測定データ

図 4.1.4 9月16日の測定データ

図の赤い実線部分のように、RSSI が 10dB～20dB 程度で上下している。そのとき、破線部分のように、長浜（三角）、島原ともに気温が上昇し、長浜の海水温より 3°C 程度高くなっている。

8月19日は、赤矢印の15時頃に海水温が上昇し、島原の気温より高くなり、長浜（三角）との気温差が小さくなっている。このときの RSSI の変動は、15時以前では、20dB 程度上下に変動していたが、15時～17時の間では、2dB 程度の変動と安定している。また、16時には、海水温が下がり、気温との差が広がってからの RSSI の変動は、17時頃から 20dB 程度の上下の変動が発生している。

また、9月16日は、13時～17時頃、気温が海水温を上回った。14時～18時頃に RSSI が 15dB 程度で激しく変動している。

気温の上昇により、水蒸気が発生する影響で、RSSI が短い周期で激しく変動していると思われる。

また、RSSI の激しい変動は、気温と海水温の逆転現象の発生時間より数時間遅れて発生し、海水温が再度高くなって数時間遅れて RSSI が安定している。気温と海水温の温度差と RSSI の変動との関係に時間的なズレがある。ヒステリシス現象のようである。
※ヒステリシス現象：経歴現象。一般に、物質や系の状態が、それまでたどってきた経過に依存すること。特に、磁気ヒステリシスをさすが、ほかに、誘電分極や弾性体

のひずみなどにも見られる。

ウ 気温が海水温よりかなり(5°C以上)高いとき

最後に、気温が上昇して、海水温より5°C以上高くなったときのRSSIの変動について調べる。

図4.1.5と図4.1.6に気温が海水温より5°C以上高くなったときの8月6日と8月14日の測定データを示す。なお、測定期間中の気温と海水温の差は、最大で9°Cであった。

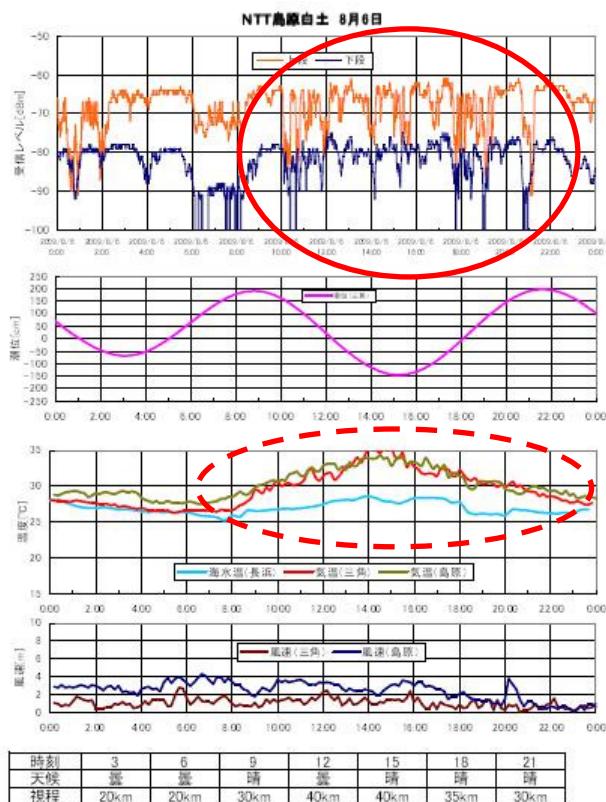


図4.1.5 8月6日の測定データ

図の赤い実線部分のように、RSSIが20dB以上で上下している。そのとき、破線部分のように、長浜（三角）、島原ともに気温が上昇し、長浜の海水温より5°C以上高くなっている。

8月6日は、終日、気温が海水温より高い。RSSIは、10時～21時頃に20dB程度で変動している。

8月14日は、8時～20時まで、気温が海水温より高い。RSSIは、10時～21時頃に20dB程度で変動している。

気温と海水温との差が広がると、RSSIの短い周期での変動が更に激しくなる。水蒸気の量の増加の影響も考えられるが、それ他のマルチパスによる影響も考えられる。

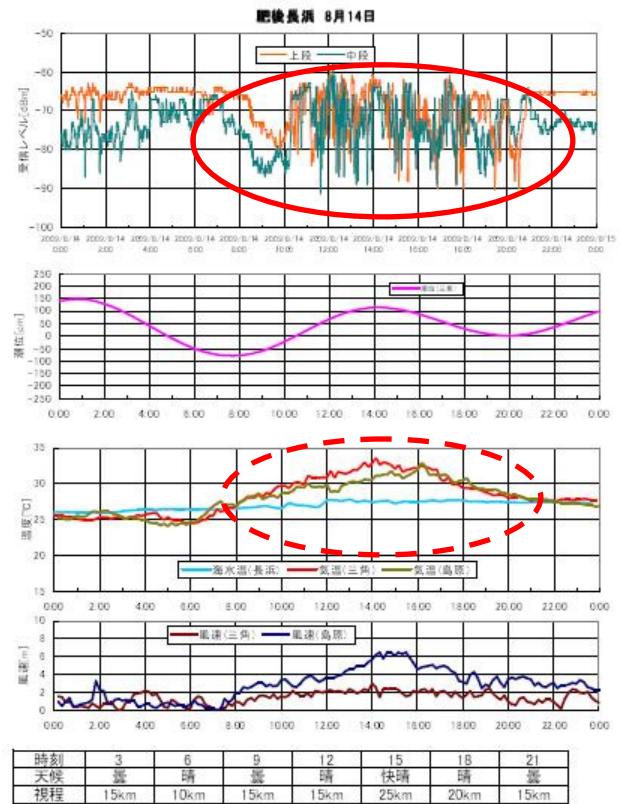


図4.1.6 8月14日の測定データ

(2) 風速と RSSI の関係について

10月7日、8日は、RSSI が常に-65dBm 程度と安定していた。当日は、台風の影響で、強風が吹いており、この現象と関連があると思われる。強風が RSSI にどのような影響を与えるか調べるために、強風のときの RSSI の変化を調査し、風速と RSSI の変動との関係の考察を行う。

風速と海上の状態について、世界気象機関（WMO）で風力の標準的な表現方法として採用されているビューフォート風力階級表を表 4.1.1 に示す。気象庁が採用している気象庁風力階級は、ビューフォート風力階級表をもとに作成されている。

表 4.1.1 ビューフォート風力階級表

風力 階級	陸上	海上	相当風力 [m]
0	静穏。煙はまっすぐに昇る。	鏡のような海面。	0.0-0.2
1	風向きは煙がなびくのでわかるが、風見には感じない。	鱗のようなさざ波ができるが、波頭に泡はない。	0.3-1.5
2	顔に風を感じる。木の葉が動く。風見も動きだす。	小波の小さいもので、まだ短いがはっきりしてくる。波頭は滑らかに見え、砕けていない。	1.6-3.3
3	木の葉や細かい小枝がたえず動く。軽く旗が聞く。	小波の大きいものは波頭が砕けはじめる。泡はガラスのように見える。所々に白波が現れることがある。	3.4-5.4
4	砂埃がたち、紙片が舞い上がる。小枝が動く。	波の小さいもので長くなる。白波がかなり多くなる。	5.5-7.9
5	葉のある灌木がゆれはじめる。池や沼の水面に波頭がたつ。	波の中位のもので、一層はっきりして長くなる。白波がたくさんあらわれる。(しぶきを生じることもある。)	8.0-10.7
6	大枝が動く。電線が鳴る。傘はさしにくい。	波の大きなものができはじめる。いたる所で白く泡立った波頭の範囲が一層広くなる。(しぶきが生じることが多い)	10.8-13.8
7	樹木全体がゆれる。風に向かつては歩きにくい。	波がますます大きくなり、波頭が砕けてできた白い泡は、筋を引いて風下に吹き流されはじめる。	13.9-17.1
8	小枝が折れる。風に向かつては歩けない。	大波のやや小さいもので、長さが長くなる。波頭の端は砕けて水煙となりはじめる。泡は明瞭な筋を引いて風下に吹き流される。	17.2-20.7
9	人家にわずかな損害がおこる。煙突が倒れ、瓦がはがれる。	大波。泡は濃い筋を引いて風下に吹き流される。波頭はのめり崩れ落ち、逆巻きはじめる。しぶきのために視程が損なわれることもある。	20.8-24.4
10	陸地の内部ではめずらしい。樹木が根こそぎになる。人家に大損害がおこる。	波頭が長くのしかかるような非常に高い大波。大きな塊となった泡は濃い白色の筋を引いて、風下に吹き流される。海面は全体として白く見える。海面は長い白色の泡の塊で完全に覆われる。波の崩れ方は激しく、衝撃的となる。波頭は吹き飛ばされ水煙になり視界も損なわれる。	24.5-28.4
11	めったに起こらない広い範囲の破壊を伴う。	山のように高い大波。(中小船舶は波の陰に見えなくなることもある) 海面は風下に吹き流された長い白色の泡の塊で完全に覆われる。いたる所で波頭の端が吹き飛ばされて水煙となる。視程は損なわれる。大気は泡としぶきで充満する。	28.5-32.7
12			> 32.8

参考資料：独立行政法人 新エネルギー・産業技術開発機構
「風力発電ガイドブック第6版」

5GHz 帯の波長は、6cm であり、波の高さが波長の 6cm 以上ある場合は、海面反射波に何らかの影響を与えるものと考えられる。風速階級 4（風速 5.5m～7.9m）と風速階級 5（風速 8.0m～10.7m）について考察をする。

ア 風速階級 5 (8.0m～10.7m) 以上のとき

10月8日午前5時頃、台風18号が愛知県の知多半島付近に上陸し、本州を北東に縦断した。試験地域では、降雨はほとんどなかった。しかし、10月7日、8日は、台風の影響で、風速は10m以上（風速階級5以上）と強かった。

その時の測定データを図4.1.7と図4.1.8に示す。

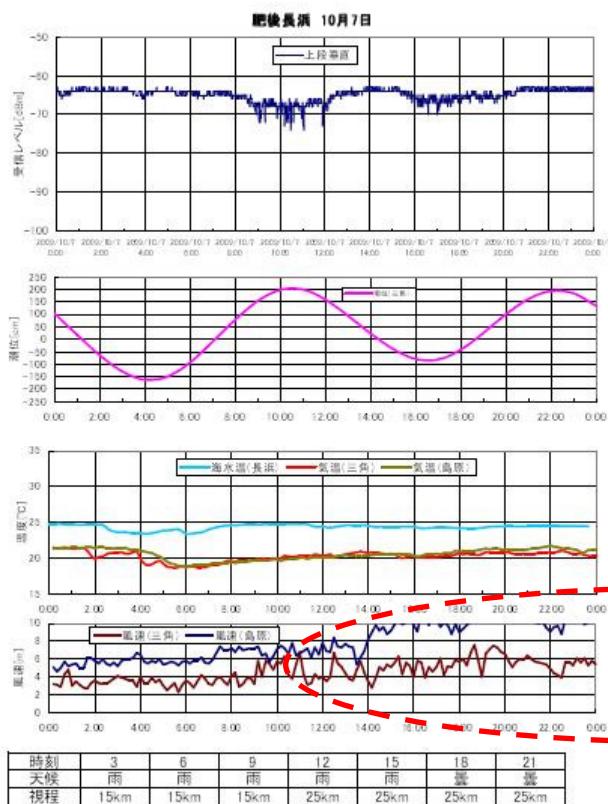


図4.1.7 10月7日の測定データ

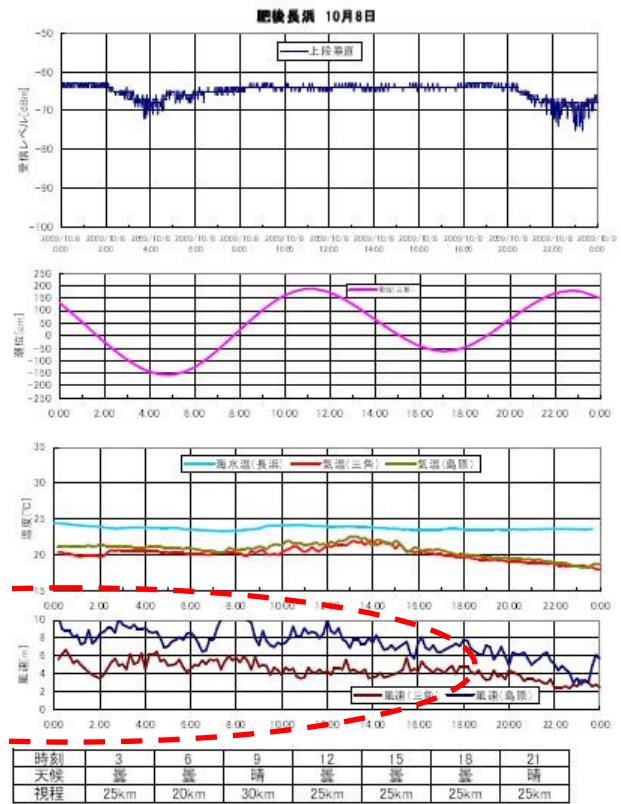


図4.1.8 10月8日の測定データ

両日ともに、RSSIは、-65dBm程度で安定している。特徴的な気象条件は、台風により風速が強く、赤破線部分で、島原が、10m以上（風速階級4～6：風力6.5m～13.3m）、長浜（三角）が6m程度（風速階級3～4：風力3.5m～7.6m）であった。

イ 風速階級 4 (5.5m~7.9m) のとき

台風以外のときに風速 10m を超える風は観測されなかった。台風以外の強風のときの測定データを調査する。ここでは、島原で風速 6m 以上（風速階級 4）のときをピックアップして調べて、同時期で風速以外の気象条件が似ている日の測定データと比較をする。

① 9月8日と9月3日の測定データ比較

図 4.1.9 に比較的強風であった 9月8日の測定データ（島原で風力階級 3～4）を、図 4.1.10 に風速の弱い同時期の 9月3日の測定データ（風力階級 1～3）を示す。表 4.1.2 に9月8日と9月3日のデータの比較を示す。

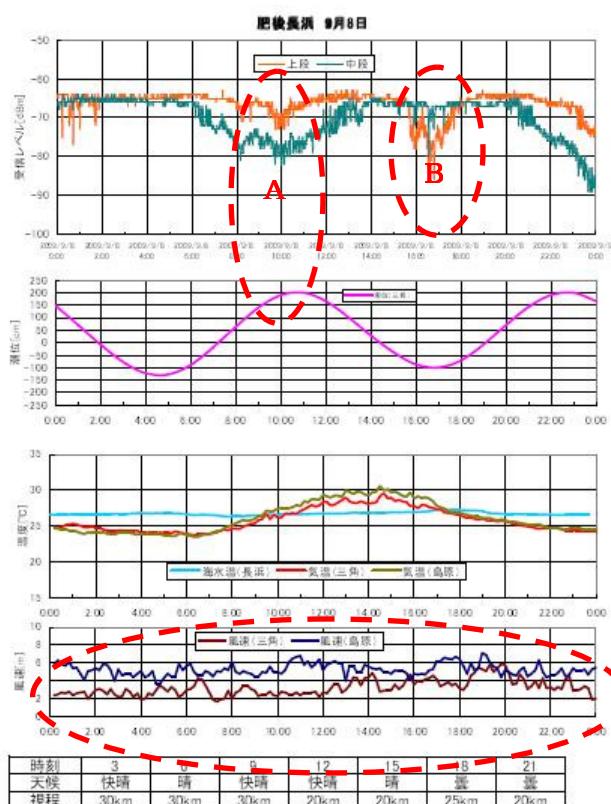


図 4.1.9 9月8日の測定データ

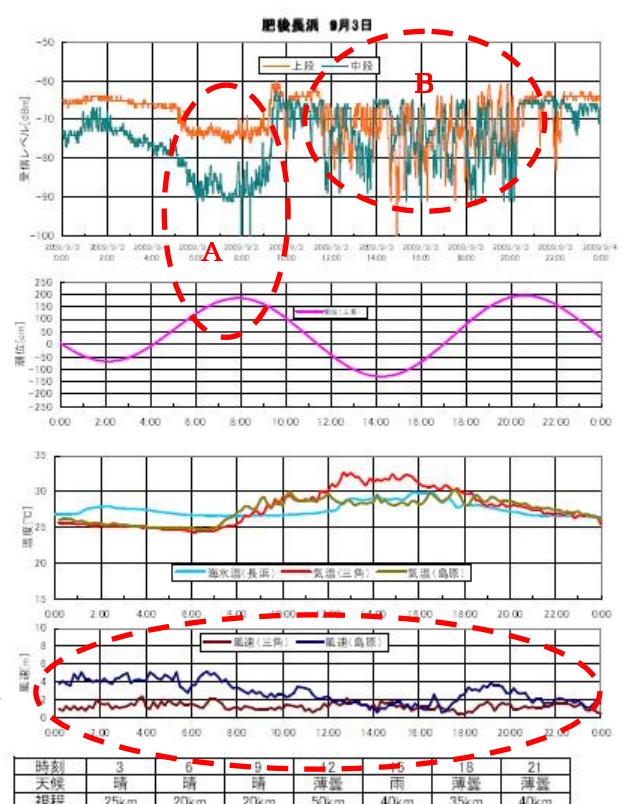


図 4.1.10 9月3日の測定データ

表 4.1.2 9月8日と9月3日のデータ比較

項目	RSSI 変動の原因	9月8日		時刻 終日
		4m～6m	2m～4m	
RSSI	潮位による落ち込み	5dB 程度	10dB 程度	A
	気温 > 海水温での変動	5dB 程度	20dB 程度	B

9月8日は、島原で風速 6m 程度（風力階級 4）であり、9月3日は、島原で風速 2m から 4m 程度（風力階級 2～3）であった。両日とも、日中、気温が海水温より 3°C 程度高くなり、「(1) 気温および海水温と RSSI の関係について」で述べたように、通

常、気温が海水温より3°C程度高くなった場合、10dBから20dB程度のRSSIの変動が予想されるが、RSSIの変動に違いが出た。

また、潮位による落ち込みの深さも違いが出ている。

台風時のときは、RSSIが-75dBm以下に落ちなかつたが、9月8日は、RSSIが-80dBm以下に落ちているときもあった。

② 9月19日と9月25日の測定データ比較

図4.1.11に比較的強風であった9月19日の測定データ(島原で風力階級3~5)を、図4.1.12に風速の弱い同時期の9月25日の測定データ(風力階級1~3)を示す。また、表4.1.3に9月19日と9月25日のデータの比較を示す。

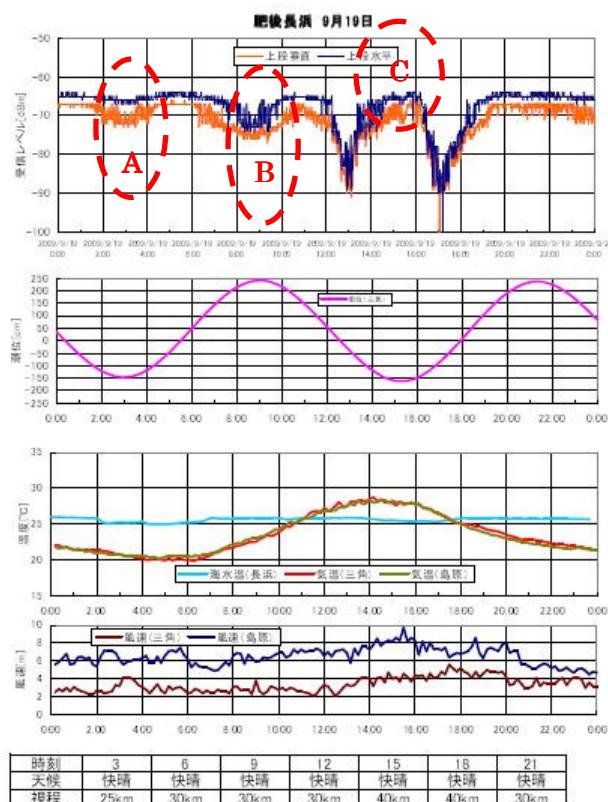


図4.1.11 9月19日の測定データ

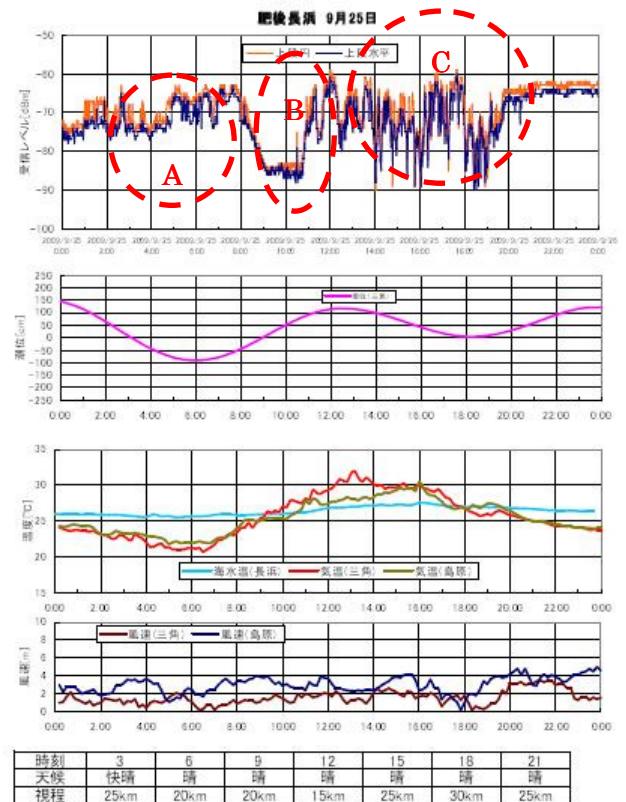


図4.1.12 9月25日の測定データ

表4.1.3 9月19日と9月25日のデータ比較

項目	RSSI変動の原因	9月19日	9月25日	時刻
		6m~10m	4m以下	終日
RSSI	気温<海水温での変動	2dB程度	8dB程度	A
	潮位による落ち込み	10dB程度	20dB程度	B
	気温>海水温での変動	5dB程度	15dB程度	C

表に示したように、風速が強くなると、気温および海水温、潮位の影響によるRSSIの変動は少なくなり、RSSIは安定した。

9月19日の13時、17時の大好きな落ち込みは、海面反射点の風速が強くないなどの要因が考えられる。

③ 風速が強いときの考察

風速の強いときは、海上が荒れ、細かな波が多数発生する。通常、海面で反射する海面反射波が、波面の影響で、乱反射状態になり、反射波がアンテナに届きにくくなり、RSSIが安定すると考えられる。

また、風の影響で、気温の上昇も抑えられ、気温と海水温の逆転現象も起こりにくくなる。

(3) 潮位と RSSI の関係について

「(1) 気温および海水温と RSSI の関係について」で、述べたように、夏季においては、気温の上昇と海水温の関連が大きいと考えられる。また、「(2) 風速と RSSI の関係について」で、述べたように、風速の強い場合は、風速の影響を受けると思われる。しかし、10月頃は、気温も海水温を超えることも少なくなり、なおかつ、風速の弱いときは、(1)、(2) の気象の影響が少なくなり、潮位と RSSI の関連性が見えてきた。

図 4.1.13 と図 4.1.14 に潮位との関連が顕著な例を示す。

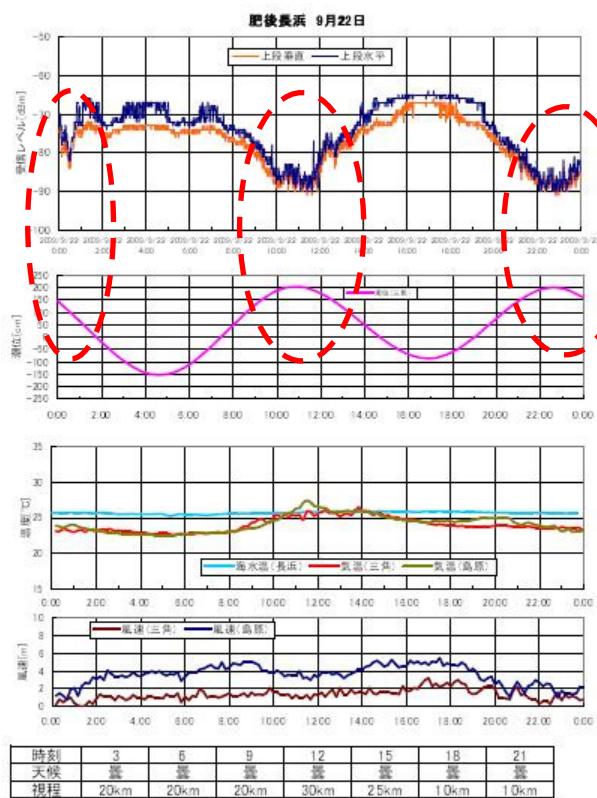


図 4.1.13 9月22日の測定データ

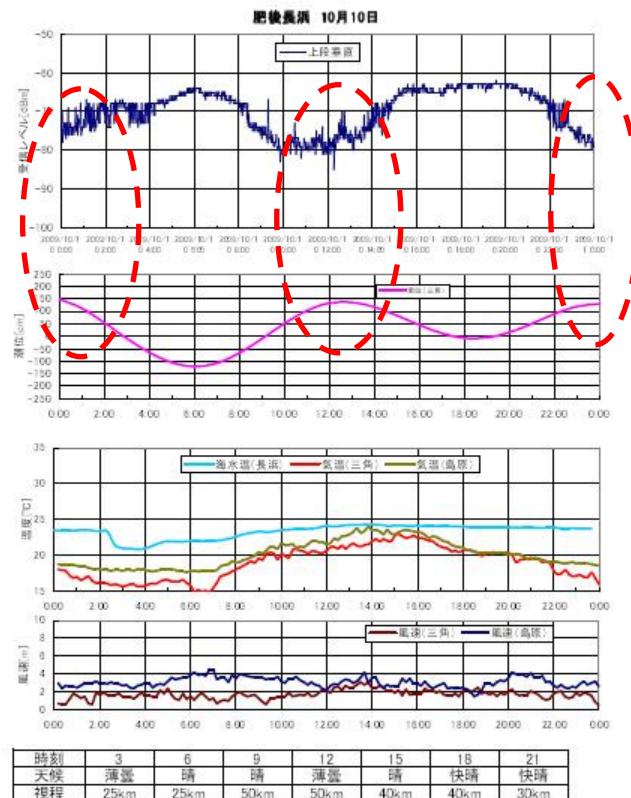


図 4.1.14 10月10日の測定データ

図の点線部分のように、三角の潮位が高いときに、RSSI が下がっている。逆に、潮位の低いときに、RSSI は上がっている。

本試験のシステムのアンテナ設置高では、潮位の影響があり、潮位が高くなるときに、RSSI が低くなった。

(4) 気象・海象条件下での電波伝搬特性の全般的な考察

ア 気象・海象条件下での受信レベル (RSSI) への影響

当初有明海の干満の差が大きいため、本試験の RSSI は、「潮位」の影響を大きく受けるものと考えた。しかし、「気温および海水温」や「風速」の気象データと RSSI の測定データおよび、潮位のデータを比較すると、「潮位」の変動よりも「気温および海水温」、「風速」の気象条件の方が、RSSI の変動に大きな影響を与えることが推測できる。

気温が海水温より高いときは、活発な水蒸気の発生などの影響で、RSSI が大きく変動すると思われる。風速の大きいときは、海面に細かな波が立ち、海面での反射が乱反射になり、反射波がアンテナに届かないため、RSSI が安定すると思われる。

「潮位」は、先の考察で述べたように、10 月になるまで影響が現れなかつたので、「気温と海水温の温度差」と「風速」とでは、どちらの気象条件の影響が大きいのか比較する。

気温が海水温より高くかつ、風速も強いときの比較を行う測定データとして、図 4.1.14 に 7 月 12 日の測定データを図 4.1.15 に 7 月 13 日の測定データを図 4.1.16 に 8 月 12 日の測定データを示す。表 4.1.4 に 7 月 12 日、7 月 13 日と 8 月 12 日のデータの比較を示す。(破線部分のみの比較)

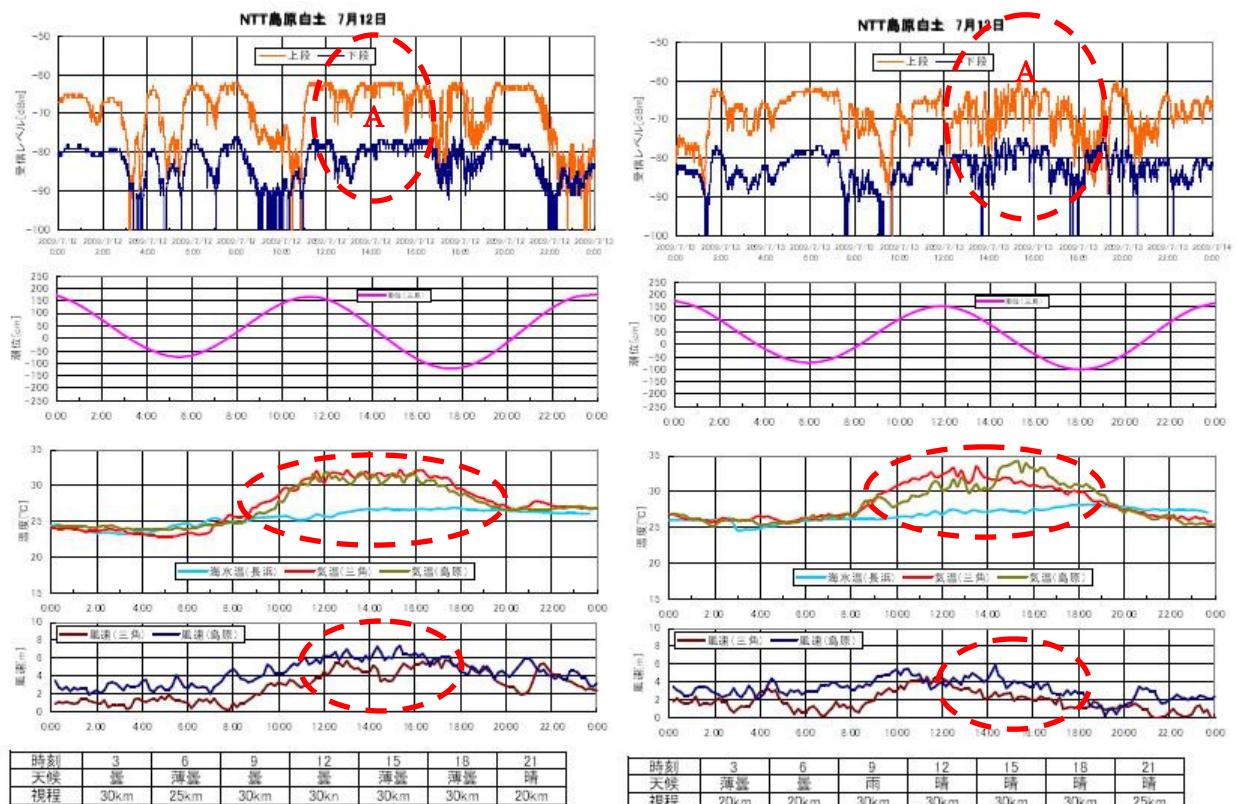


図 4.1.14 7 月 12 日の測定データ

図 4.1.15 7 月 13 日の測定データ

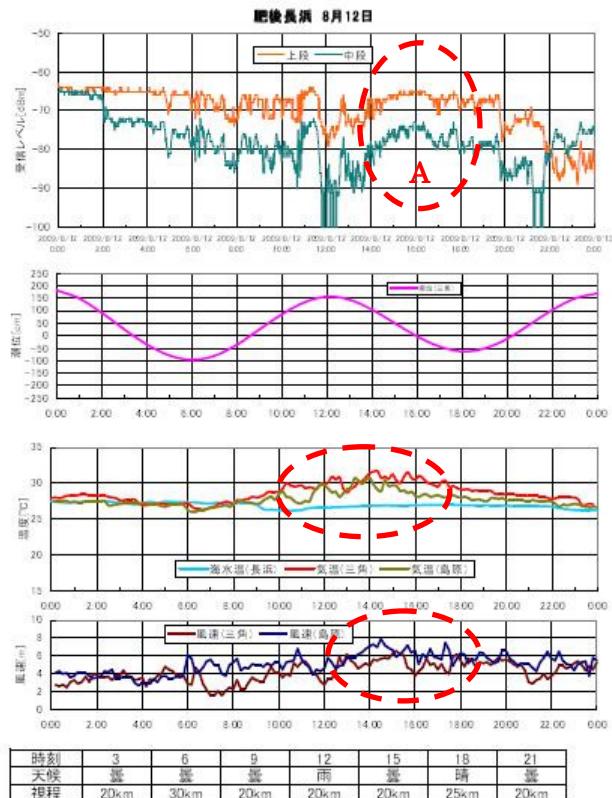


図 4.1.16 8月12日の測定データ

表 4.1.4 7月12日、13日と8月12日のデータ比較

項目	7月12日	7月13日	8月12日
風速	4m~7m	2m~6m	4m~8m
気温と海水温の温度差	6°C	7°C	5°C
RSSI 変動	短い周期で 3dB、 全体で 10dB 程度	15dB 程度	2dB 程度

図および表から、気温と海水温の関係と風速の関係では、風速の関係の方がより強く影響を受けるものと思われる。

気象・海象条件下での影響は、

風速 > 気温と海水温 > 潮位の順で、受信レベル(RSSI)への影響があると考えられる。

イ 回線信頼度

本試験結果から得られたアンテナ間離隔 4mの時の CDF (図 4.1.17) から、公称速度 18Mbps (受信感度-77dBm) 設定において、円偏波受信 S D 方式を使用し、実効速度 9Mbps で約 90%の回線信頼度が確保されている。

ここで、20km海上伝搬路の回線設計では、 -73.44dBm となっており、実効速度 12Mbps 程度確保する場合（公称速度 24Mbps、受信感度 -74dBm ）の回線信頼度は約 75%である。回線設計値の CDF の値が約 75%になったのは、気温と海水温、潮位による受信レベル（RSSI）の変動が影響しているためである。

この回線信頼度を 95%程度に上げるには、回線設計に受信レベル（RSSI）変動分として 5dB 程度の回線マージンを考慮する必要がある。

表 4.1.5 5GHz 帯無線アクセスシステムの公称速度（*1）と受信感度（*2）

規格	IEEE802.11j（標準規格値）							
公称速度（*1） (Mbps)	6	9	12	18	24	36	48	54
受信感度（*2） (dBm)	-82	-81	-79	-77	-74	-70	-66	-65
変調方式	BPSK		QPSK		16QAM		64QAM	

(PER=10% ⇔ BER=10E-5)

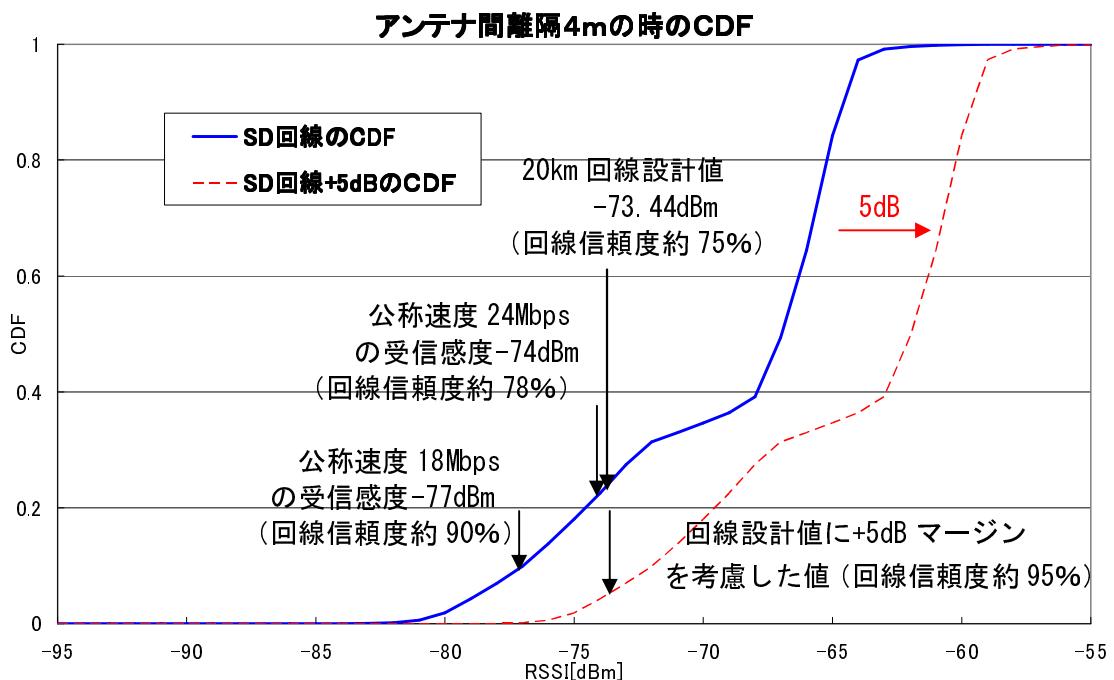


図 4.1.17 アンテナ間離隔 4m のときの CDF

4.2 周波数選択性フェージングについての考察

BPSK 変調による PN3 符号 (Pseudo random noise : 3 段の疑似ランダムノイズで 9Mbps の 1110010 の繰り返し) で周波数選択性フェージングを観測した。

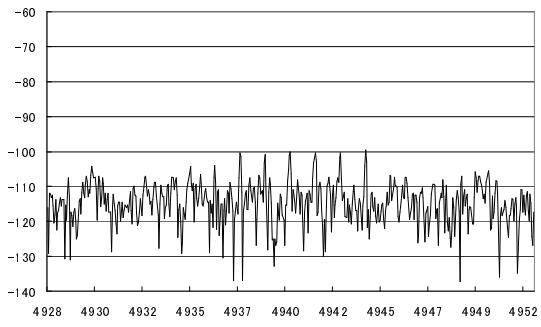
図 4.2.1 に 10 月 21 日 21 時の測定データ、図 4.2.2 に 10 月 21 日 22 時 5 分の測定データ、図 4.2.3 に 10 月 22 日 13 時の測定データを示す。

10 月 21 日はそのままの形を保つつ減衰しているが、21 時頃から PN3 の数本の角のようにスペクトラムが現れている。

図 3.2.21 から図 3.2.26 の 22 日は PN3 符号のスペクトラムが現れているが、全体的に減衰 (22 日は 2.4GHz 帯無線アクセスシステムの RSSI も大きく減衰) している。PN3 以外のスペクトラム全体も減衰している。22 日の測定した時間帯でほぼ同じようなスペクトラムの形をしている。

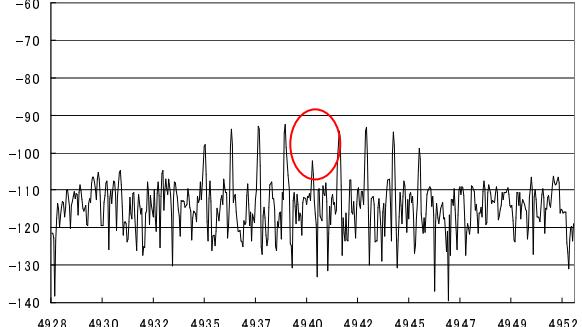
図 4.2.1 と図 4.2.2 の受信スペクトラムは電波伝搬路でかなり減衰を受けた BPSK 変調 (9Mbps) の中心周波数 4940MHz の連続 PN3 の波形、図 4.2.3 の受信スペクトラムは、受信レベルの高い BPSK 変調 (9Mbps) の中心周波数 4940MHz の連続 PN3 の波形を示す。

図 4.2.2 の赤線部分の周波数 4940MHz 付近で、レベルが落ち込んでいる部分は、周波数選択性フェージングの影響と考えられる。



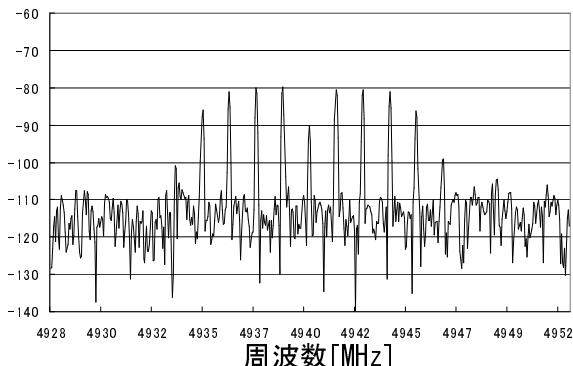
周波数 [MHz]

図 4.2.1 10 月 21 日 21 時の測定データ



周波数 [MHz]

図 4.2.2 10 月 21 日 22 時 5 分の測定データ



周波数 [MHz]

図 4.2.3 10 月 22 日 13 時の測定データ

参考データであるが、遅延プロファイルを計算した。使用したデータは、10月19日16時頃のOFDM(16QAMのマルチキャリア)である。図4.2.4と図4.2.5に遅延プロファイルの計算結果を示す。なお、図4.2.4は、受信平均エネルギースペクトラムの高速逆離散フーリエ変換(IFTT)($N=1024, R=100$, N:データ数、R:スナップショット数)から、図4.2.5は、受信エネルギースペクトラムに位相情報を乗せて遅延プロファイルを推定したものである。

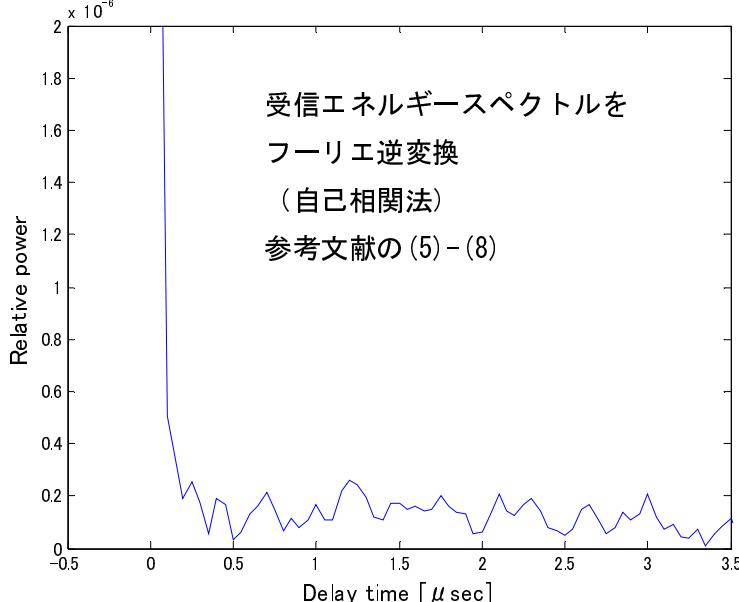


図4.2.4 遅延プロファイル(自己相関法)

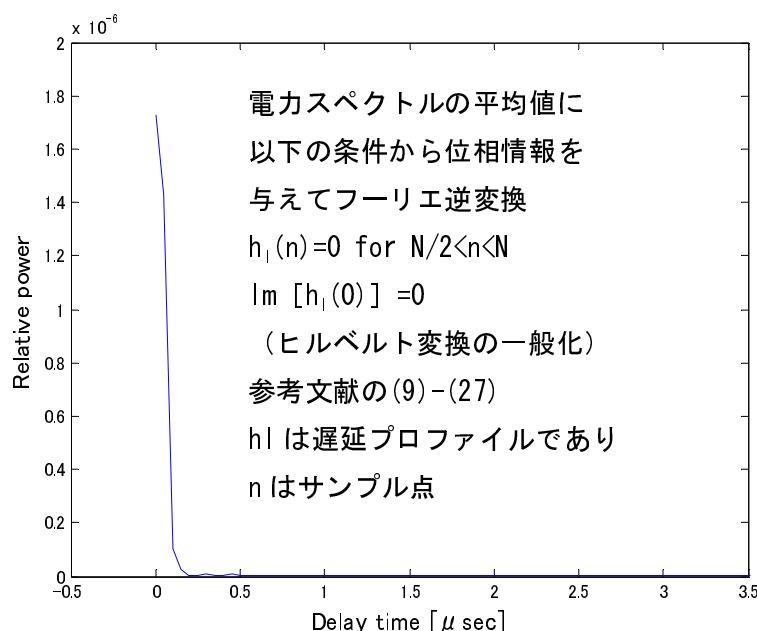


図4.2.5 遅延プロファイル(ヒルベルト変換)

参考文献：「OFDM伝送における遅延プロファイル推定法」映像情報メディア学会誌
Vol. 60, No. 10 (2006)

図 4.2.4 は、Wiener-Khintchine の定理に基づいた自己相関値であるが、遅延プロファイルとして使用されている。図 4.2.5 は、高速逆離散フーリエ変換の結果の右半分は負の周波数が使えないことに注目してこの部分を落として、これから位相情報を推定して追加したものである。実際には、周波数領域において、符号関数 $\text{sgn}(x)$ を離散フーリエ変換した周期関数と平均電力スペクトラム関数との畳み込みから位相情報を推定して IFFT する。

5GHz 帯無線アクセスシステムの帯域が 20MHz で、時間分解能（正規化値 1 ポイントあたり）は、約 $0.05 \mu\text{sec}$ ($=1.0 / (20 \times 10^6)$) となる。一方、直接波と反射波の経路差は、最大で 2 波長 (12 cm) 程度になり、遅延時間は、 0.4nsec ($=0.12 / (3.0 \times 10^8)$) 程度になり、2 波モデル（直接波と反射波）の区別は時間分解能以下でできない。2 波モデルでの区別は、数 GHz 帯域の UWB (Ultra Wide Band) 並みの帯域が必要である。

$0.1 \mu\text{sec}$ 以内もしくはその前後の時間に多少の信号の重なりがあると思われる。なお、Blackman 関数という窓関数を用いており、方形窓のフーリエ逆関数によるサイドローブは $n=2$ (2 サンプルポイント) で 0.6 倍、 $n=3$ で $1/10$ に抑えられる。

これらの結果が示す限り、 $n=2$ 相当の $0.05 \mu\text{sec}$ において、 $n=1$ における波の 0.8 倍程度の比較的強い遅延波を表す結果がでているが、これ以降、反射波は現れていない。

4.3 スペースダイバーシティ方式についての考察

SDの効果を論ずる上で、CDFを解析することが便利である。SD回線に用いられる各回線とSD回線（SD構成で測定を行うと、SD構成にする前の各回線のRSSIの変動がわからなくなる。本試験では、各回線のRSSIの変動を把握しながら、SD回線のRSSIを把握し、効果を確認するために、各回線のRSSIを測定し、SD回線が各回線のRSSIの値の良い値を選択できるものと仮定する。）のCDFをそれぞれ比較して、SDの効果を確認した。

試験期間⑥、⑦、⑧のCDFを図4.3.1と図4.3.2に示す。

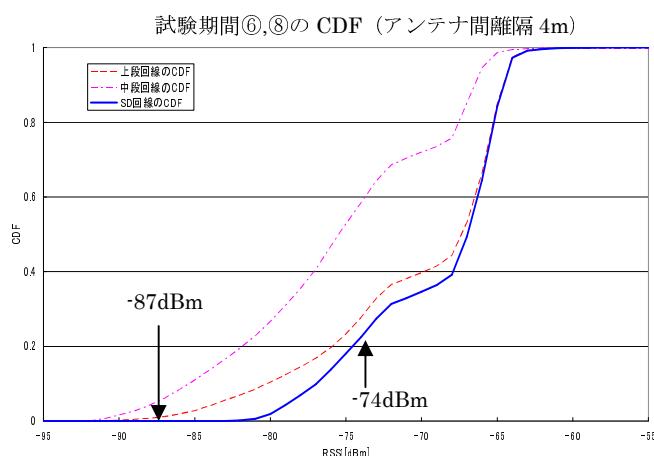


図4.3.1 試験期間⑥⑧（長浜上中）のCDF

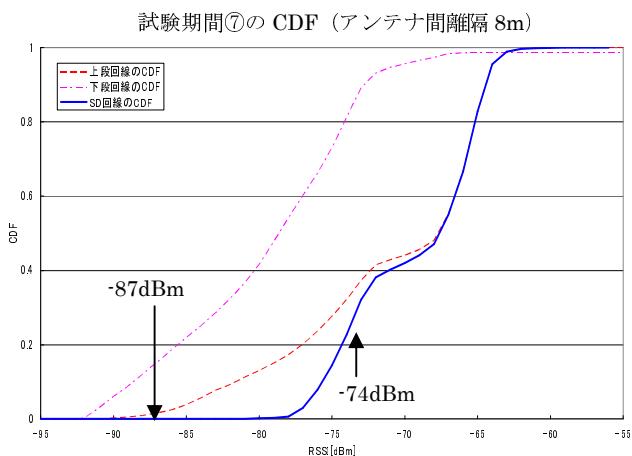


図4.3.2 試験期間⑦（長浜上下）のCDF

※SD回線は、上段回線のRSSIと中段もしくは下段回線のRSSIとを比較して、高いRSSIを選択した場合のRSSIを考える。

(1) S D効果について

RSSI が -87dBm （実効速度約 9Mbps のしきい値）の時のCDFの値は、SD回線（アンテナ間離隔 4m、8mの両 SD回線）で 0（回線信頼度 100%）、上段回線で 0.01（回線信頼度 99%）、中段回線で 0.06（回線信頼度 96%）、下段回線で 0.16（回線信頼度 84%）である。また、RSSI が -74dBm （実効速度約 12Mbps の必要受信電力）の時のCDFの値は、アンテナ間離隔 4mのときの SD回線で 0.25（回線信頼度 75%）、アンテナ間離隔 8mのときの SD回線で 0.28（回線信頼度 72%）、上段回線で 0.30（回線信頼度 70%）、中段回線で 0.64（回線信頼度 36%）、下段回線で 0.88（回線信頼度 12%）である。

よって、SDの効果は確認された。

※RSSI:-87dBm は、本試験（伝送速度約 9Mbps）のスレッシュホールドである。

※RSSI:-74dBm は、5GHz 帯無線アクセスシステムの公称速度 24Mbps（実効速度約 12Mbps：高画質映像伝送に必要と思われる実効速度）の必要受信電力である。

(2) アンテナ間離隔の考察

肥後長浜局の上段、中段（アンテナ間離隔 4m）と上段、下段（アンテナ間離隔 8m）の 2 種類について比較測定した。

- ① アンテナ離隔 8mでの測定実施理由は、肥後長浜局のハイトパターン上のトップの点とヌルの点の高さの差が約 8mである。アンテナ間を 8mの距離を離せば、潮位の影響を減らすことができるためである。
- ② アンテナ離隔 4mでの測定実施理由は、8mの高さの差を実現することが困難であると想定される。半分の 4mの離隔なら実現も可能であり、SDの効果も多少はあるためである。

アンテナ離隔 4mのときとアンテナ離隔 8mのときのCDFを図 4.3.3 に示す。

ここで、SDの効果を考察するために、上段回線と中段回線の RSSI で高い値を選択する理想的な SD回線と比較する。

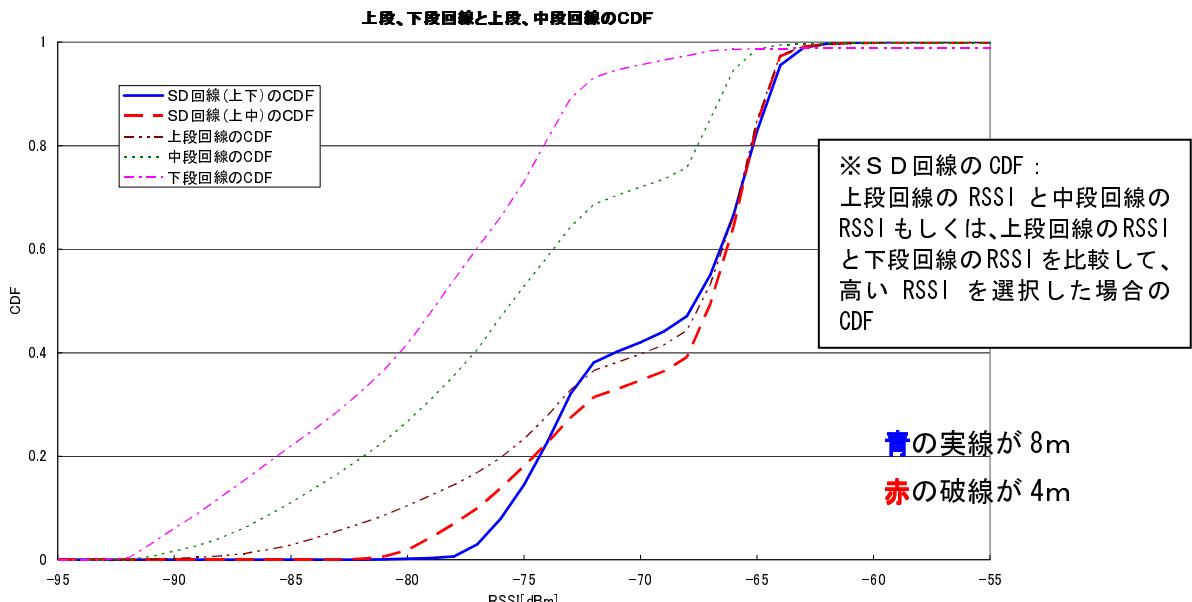


図 4.3.3 アンテナ間隔 4m と 8m のときの CDF

ア 図 4.3.3 の CDF および、試験期間⑥⑦⑧の測定データよりつぎのことことがいえる。

- ① 8mの方が、RSSI-74dBm より低い値の確率は少ない。
- ② -74dBm より高い値の場合は、4mの方が良い結果になった。
- ③ 上段アンテナの回線と下段アンテナの回線（アンテナ離間 8m）のレベル変動は、ほぼ逆であり、約-74dBm で逆転した。（図 4.3.4 参照）

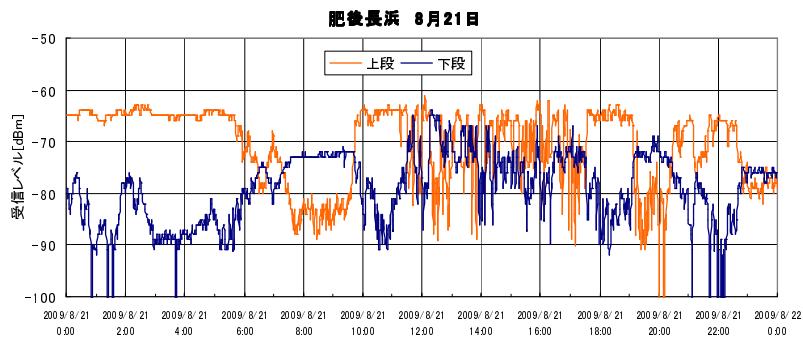


図 4.3.4 アンテナ間隔 8m の時のデータ例

- ④ 上段アンテナの回線と中段アンテナの回線（アンテナ離間 4m）のときは、上段の回線の RSSI が -80dBm より低い値のときに、中段の回線が補完するように、上段の回線以上の RSSI になった。（図 4.3.5 参照）



図 4.3.5 アンテナ間離隔 4m の時のデータ例

イ ア項のことから次のことが考えられる。

ハイトパターン上のトップとヌルの 2 地点間での相関関係が低いことから、理想的な S D 方式の離間距離はトップとヌルの間隔（約 8m）である。ただし、本試験では、ヌルにあたる下段アンテナ回線が気象・海象など様々な要因で、RSSI が全般的に低くなり、理想的なデータが得られなかった。そこで、半分である 4m のアンテナ間離隔を選択し、測定を行った。結果よりアンテナ間離隔は 8m が理想的であるけど、4m では、補完関係を保つつつ、全体的な RSSI のレベルが高いことから、アンテナ間離隔 4m の方が良い。

また、想定される自治体の防災既設の設備を使用する条件では、あまり高い位置にアンテナを設置できないため、トップとヌルの間隔 8m の場合では、下段アンテナ間のフレネルゾーンの確保も困難になると思われる。

4.4 偏波面についての考察

試験期間⑨～⑫の CDF を図 4.4.1 から図 4.4.4 に示す。

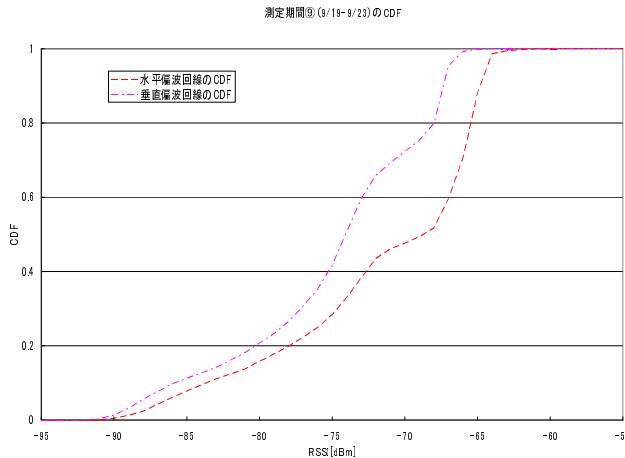


図 4.4.1 試験期間⑨(円-垂直、水平)
の CDF

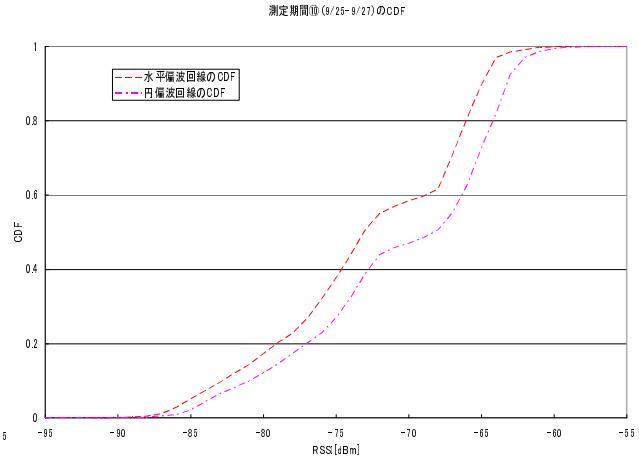


図 4.4.2 試験期間⑩(円-円、水平)
の CDF

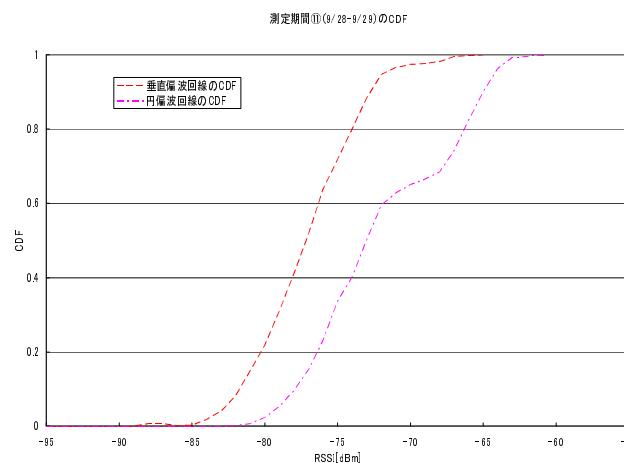


図 4.4.3 試験期間⑪(円-円、垂直)
の CDF

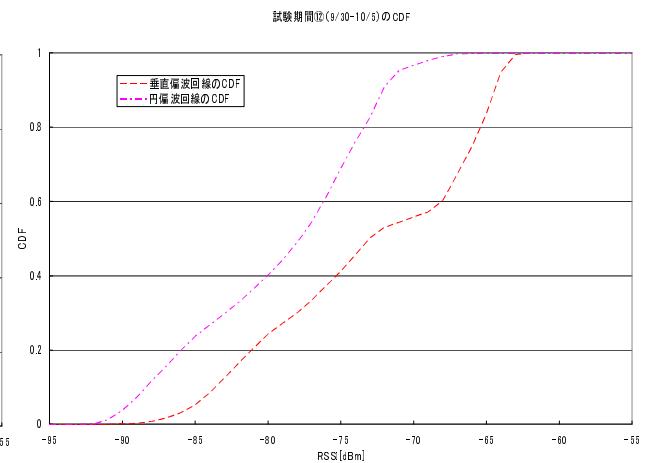


図 4.4.4 試験期間⑫(垂直-円、垂直)
の CDF

(1) 円偏波と直線偏波の比較

ア 今回線の円偏波は、水平方向に長軸を持つ橢円偏波である。

- ① 試験期間⑨の円-垂直、円-水平の測定結果で水平偏波が常に良かった。
- ② 偏波面測定の結果から、水平方向に長軸があった。

イ 図 4.4.5 に示す円-円回線、円-水平回線、円-垂直回線の CDF より、円-円回線の CDF が良い。

※円-水平と円-垂直は、円偏波から直線偏波に変換しているため、3dB の変換損失が発生する。そのため、3dB の変換損失を考慮するために、便宜上、円-円回線の CDF を

3dB 左に移動して、3 種類の回線の CDF を比較した。

円-水平、円-垂直、円-円の CDF

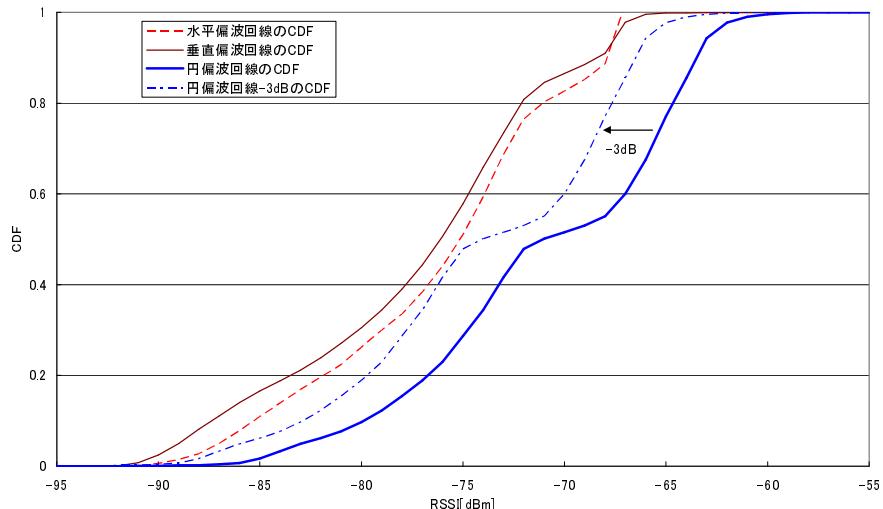


図 4.4.5 円-水平、円-垂直、円-円の CDF

図 4.4.5 の各 CDF の計算に使用した試験期間を表 4.5.1 に示す。

表 4.4.1 試験期間と図 4.4.5 の CDF の関係

偏波面	試験期間	期間
円偏波-水平偏波	⑨、⑩	9/19~9/27
円偏波-垂直偏波	⑨、⑪、⑫	9/19~9/23、9/28~10/6
円偏波-円偏波	⑩、⑪	9/25~9/29

(2) 偏波ダイバーシティを行うことでの円偏波の分析

試験期間⑨の CDF を図 4.4.6 に示す。

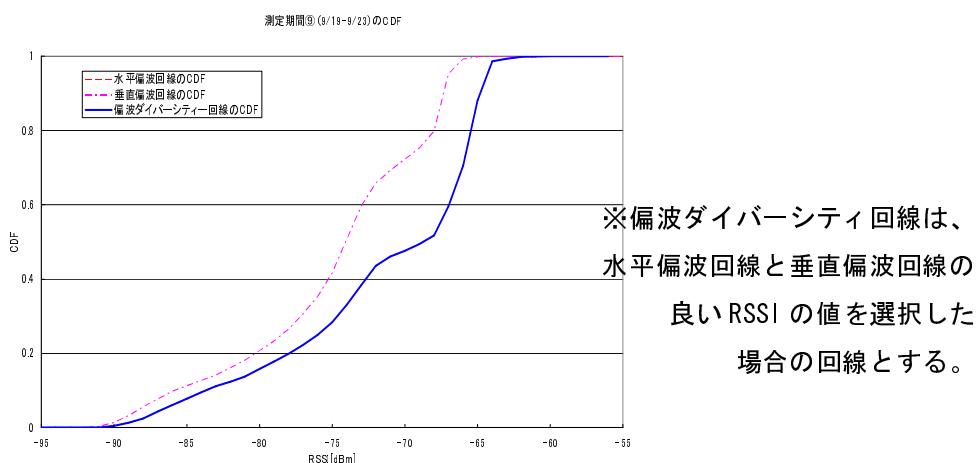


図 4.4.6 試験期間⑨（偏波ダイバーシティ）の CDF

ここで、水平偏波の値が常に垂直偏波の値より高い値であったため、偏波ダイバーシティ回線の CDF は、水平偏波回線の CDF と同じになった。

試験期間⑨(9/19~9/23)で、NTT 島原白土局（主局）が上段円偏波アンテナで、肥後長浜局（従局）が上段垂直偏波アンテナと上段水平偏波アンテナを使用している。

図 4.4.7 に 9 月 19 日の 17 時前後の測定データを示す。本グラフは、RSSI が落ち込んでいる時の測定データである。

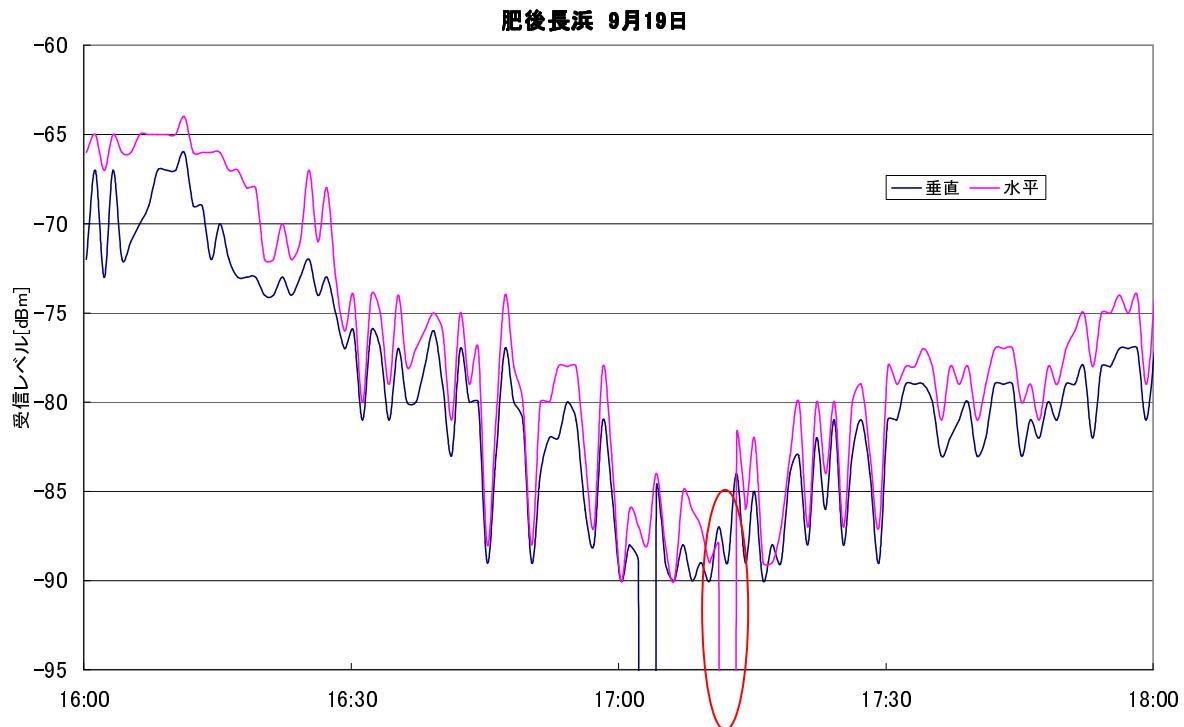


図 4.4.7 9 月 19 日の測定データ

本試験においては、偏波ダイバーシティ回線の CDF と水平偏波回線の CDF は同じで、水平偏波が垂直偏波より常に良好であった。

RSSI が高いときは、水平偏波回線と垂直偏波回線の差が大きく、RSSI が低いときは、水平偏波回線と垂直偏波回線の差が小さくなつた。特に、グラフの赤枠内の 17 時 10 分頃に、水平偏波回線の RSSI が -90dBm 以下になつたときに、垂直偏波回線の RSSI が水平偏波回線より高くなつた。短い時間ではあつたが、偏波ダイバーシティの効果を確認した。

また、図 4.4.8 に 10 月 4 日午後の測定データを示す。測定時のアンテナの構成は、NTT 島原白土局（主局）が、上段垂直偏波アンテナで、肥後長浜局（従局）が上段垂直偏波アンテナと上段円偏波アンテナである。

図 4.4.8 は、RSSI が激しく変動している時の測定データである。

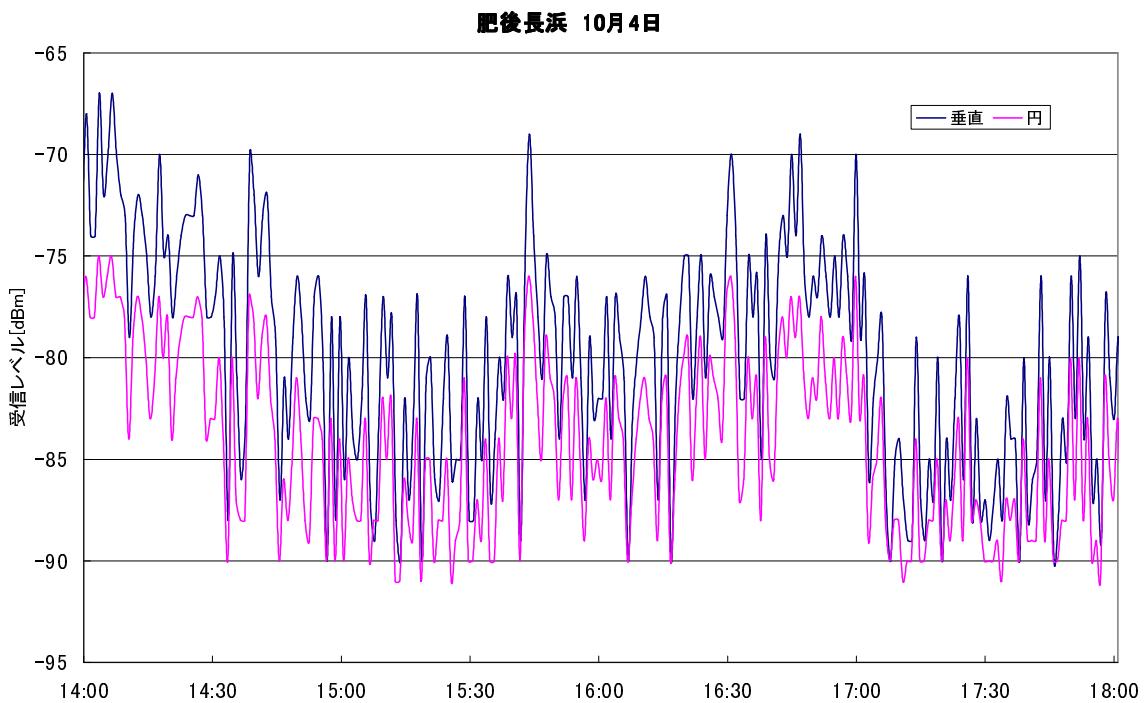


図 4.4.8 10月4日 測定データ

垂直偏波回線の RSSI が-70dBm 付近では、垂直偏波回線と円偏波回線のレベル差は、8dB 程度であった。(偏波の変換損失を考慮すると受信レベル(RSSI)差は 5dB 程度である。)

垂直偏波回線の RSSI が-85dBm 付近では、垂直偏波回線と円偏波回線のレベル差は、2、3dB 程度であった。(偏波の変換損失を考慮すると受信レベル(RSSI)差はほとんどない。)

このことは、RSSI が低くなると、先の考察より、円偏波のうち垂直偏波成分が強くなることを意味している。

偏波面測定で、長軸の角度や軸比の変動があり、安定しているときは、水平偏波成分と垂直偏波成分の受信レベル(RSSI)差が大きく、RSSI が弱いときは、水平偏波成分と垂直偏波成分の受信レベル(RSSI)差が小さくなる傾向があると思われる。

今回の試験では、若干水平偏波成分が垂直偏波成分より高くなったが、RSSI が激しく変動している場合や距離などのパラメータが変わった場合は、水平偏波が垂直偏波より良いとは言い切れないため、垂直偏波、水平偏波の両偏波成分を持つ円偏波アンテナが良いと思われる。

4.5 集中豪雨等による降雨減衰についての考察

降雨時のデータを考察する。

(1) 7月11日の8時から12時

7月11日の降水量とRSSIおよび気象データを図4.5.1に示す。

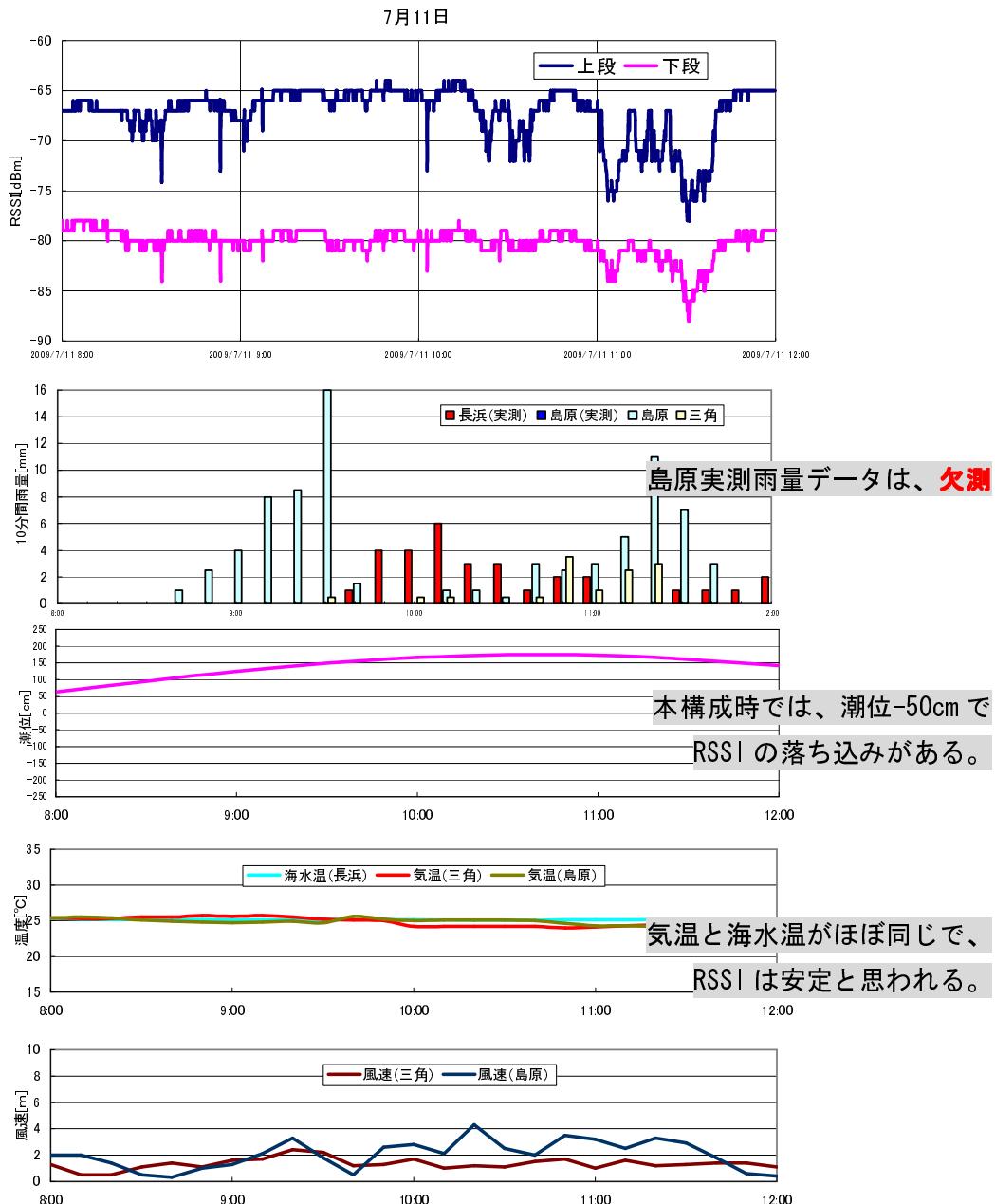


図4.5.1 7月11日のRSSIと降水量などの気象条件

ア 降雨以外の気象条件について

- ① 潮位は、本構成の場合、-50cm の時に落ち込みがあり、本期間では、潮位の影響は

ないと思われる。

② 気温と海水温はほぼ同じであり、RSSIの変動に影響しないと思われる。

③ 風速は4m以下で、特に影響はないと思われる。

イ 降雨と RSSI の関係について

① 9時から10時は、島原で降雨が観測されているが、RSSIは安定している。

② 11時半頃に10dB程度の変動がある。

(2) 7月25日の5時から12時

7月25日の降水量と RSSI および気象条件を図 4.5.2 に示す。



図 4.6.2 7月25日のRSSIと降水量などの気象条件

ア 降雨以外の気象条件について

- ① SD構成時の潮位の影響は不明である。
- ② 6時から7時頃は、島原の気温が海水温より2、3°C低い。また、9時から10時頃、島原の気温が、長浜の海水温より5°C近く高い。この時間のRSSIの変動に影響があると考えられる。
- ③ 7時前に風速が強くなっている。

イ 降雨とRSSIの関係について

- ① 6時から12時まで、RSSIが常に5dB程度の変動をしている。特に変動が大きい時間は、赤矢印のある6時、7時前、7時半頃、8時、10時から11時などである。
- ② 期間中に最大の降雨量を11時前に記録した。20分間降り続き、1時間雨量で約90mmであった。ただし、肥後長浜局のみで降雨を記録し、NTT島原白土局では降雨の記録はなかった。図4.5.3に長浜の雨量データを示す。

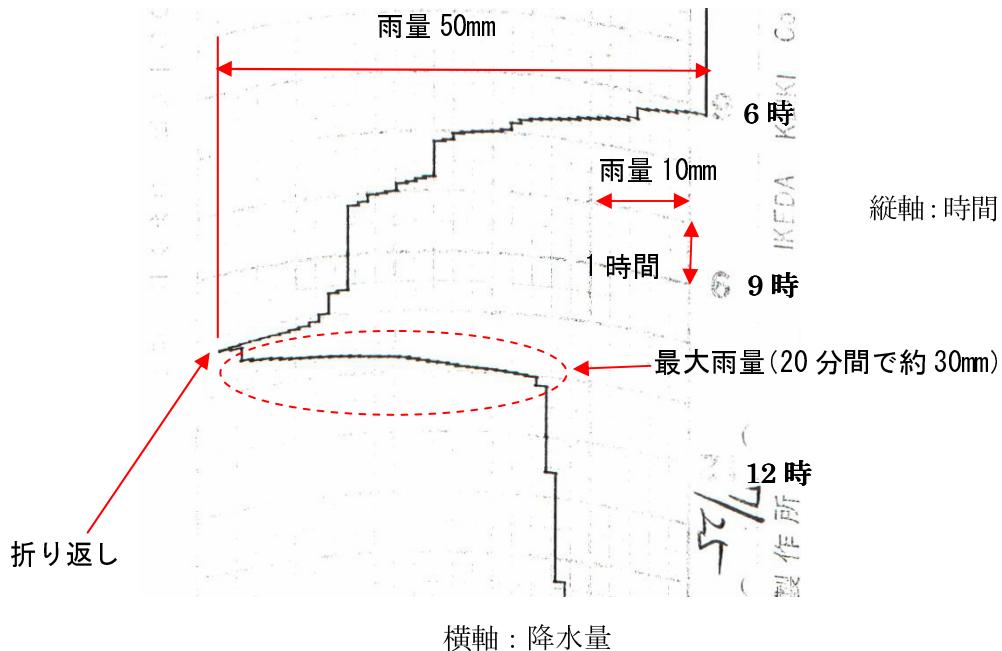
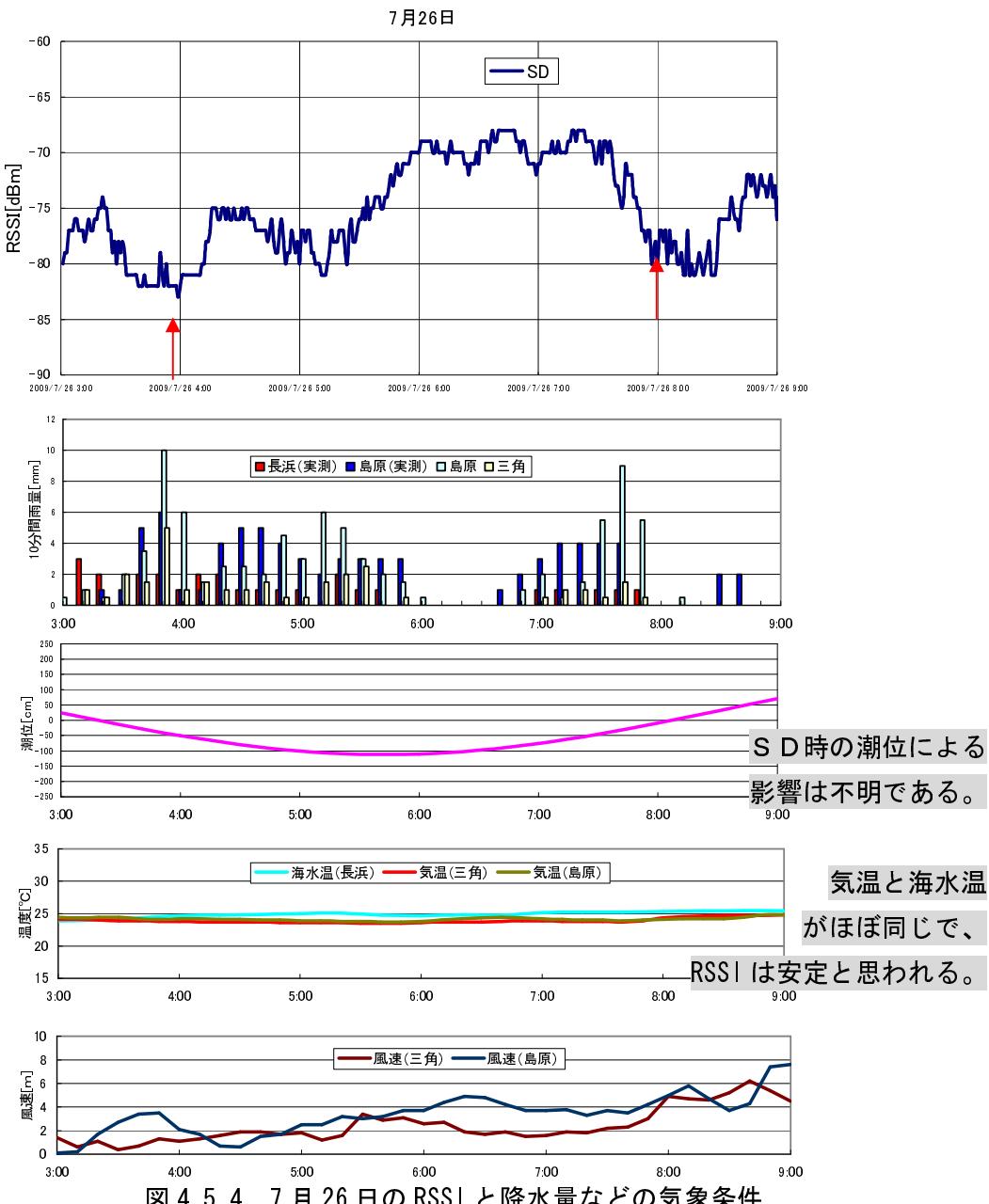


図4.5.3 7月25日の肥後長浜局の雨量計データ

(3) 7月26日の3時から9時

7月26日の降水量とRSSIおよび気象条件を図4.5.4に示す。



ア 降雨以外の気象条件について

- ① SD構成時の潮位の影響は不明である。
- ② 気温と海水温はほぼ同じであり、RSSIの変動に影響しないと思われる。
- ③ 風速は9時頃に6m以上である。

イ 降雨とRSSIの関係について

- ① 期間中のRSSIの変動は2、3dBである。

- ② 3時50分頃、RSSIが3dB上昇した。(島原10分間雨量6mm)
 - ③ 8時前の20分間で、RSSIが10dB下落した。(島原10分間雨量4mm)
- (4) 8月3日の17時から21時
- 8月3日の降水量とRSSIおよび気象条件を図4.5.5に示す。

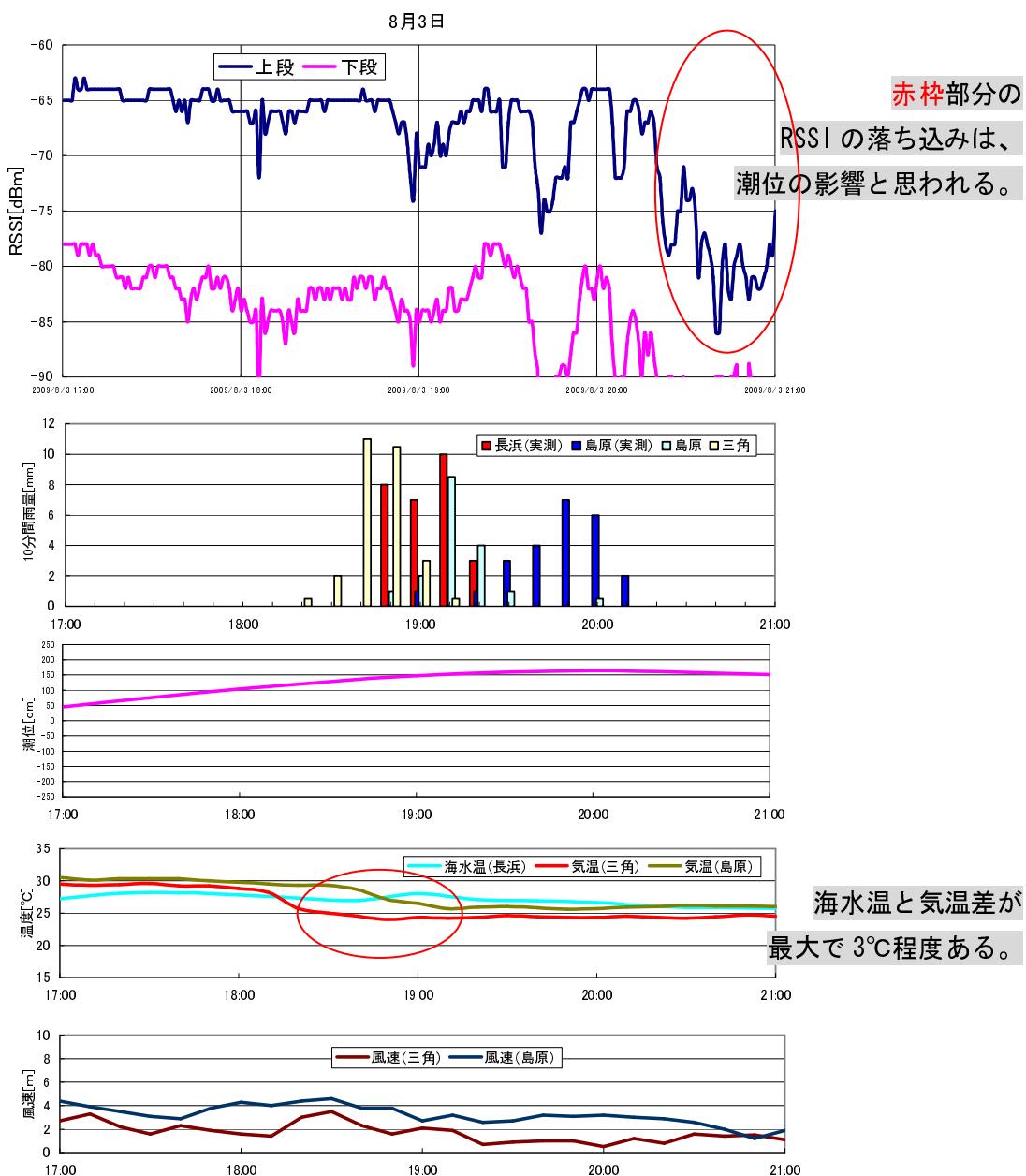


図4.5.5 8月3日のRSSIと降水量などの気象条件

ア 降雨以外の気象条件について

- ① 期間中潮位は高めで、20時以降のRSSIの落ち込みは、潮位の影響が考えられる。

② 19時頃、気温と海水温の差が3°C程度ある。RSSIの多少の変動は考えられる。

③ 風速は、最大で4m程度であり、RSSIへの影響はあまりないと思われる。

イ 降雨と RSSI の関係について

① 雨は、19時から20時にかけて長浜から島原に移行している。

② RSSIは、19時および19時40分頃に10dB程度の落ち込みを記録している。

(5) 8月15日の4時から7時

8月15日の降水量とRSSIおよび気象条件を図4.5.6に示す。

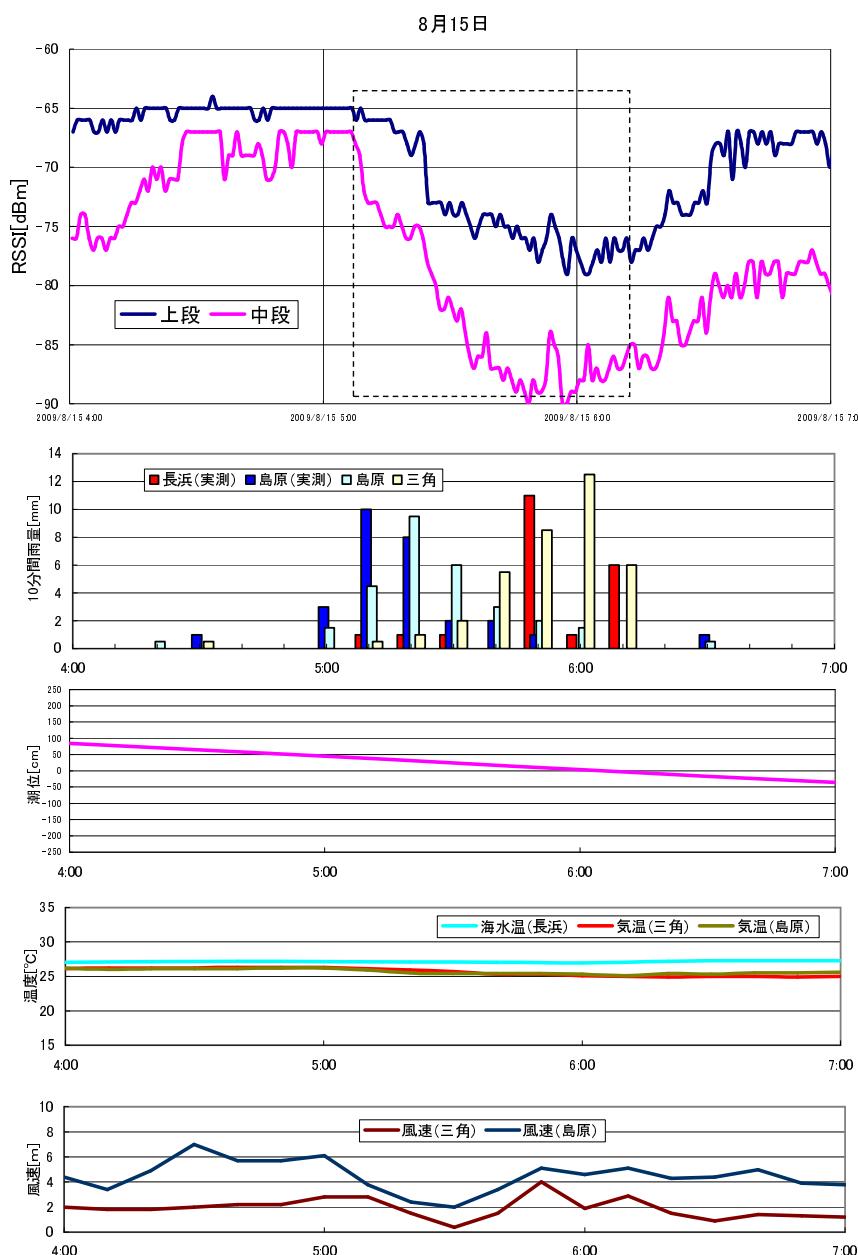


図4.5.6 8月15日のRSSIと降水量などの気象条件

ア 降雨以外の気象条件について

- ① 潮位は、100cm 以下であり、徐々に低くなるため、RSSI への影響はないと思われる。
- ② 気温が海水温より 2°C 程度低く、RSSI の影響は、2、3dB 程度変動する可能性がある。
- ③ 風速は、島原で 6m 程度記録されているが、三角の風速が 2m 程度で、RSSI への影響はないと思われる。

イ 降雨と RSSI の関係について

- ① 5 時以前の RSSI は安定していた。
- ② 島原で 10 分間雨量 10mm を記録した 5 時 10 分頃から RSSI は下降している。
- ③ 長浜で 10 分間雨量 11mm を記録した 5 時 50 分頃に 5 時の RSSI より RSSI が 14dB 落ちている。
- ④ 長浜で 10 分間雨量 6mm を記録した 6 時 10 分頃から RSSI が徐々に上昇している。

(6) 9月12日 12時から15時

9月12日の降水量とRSSIおよび気象条件を図4.5.7に示す。

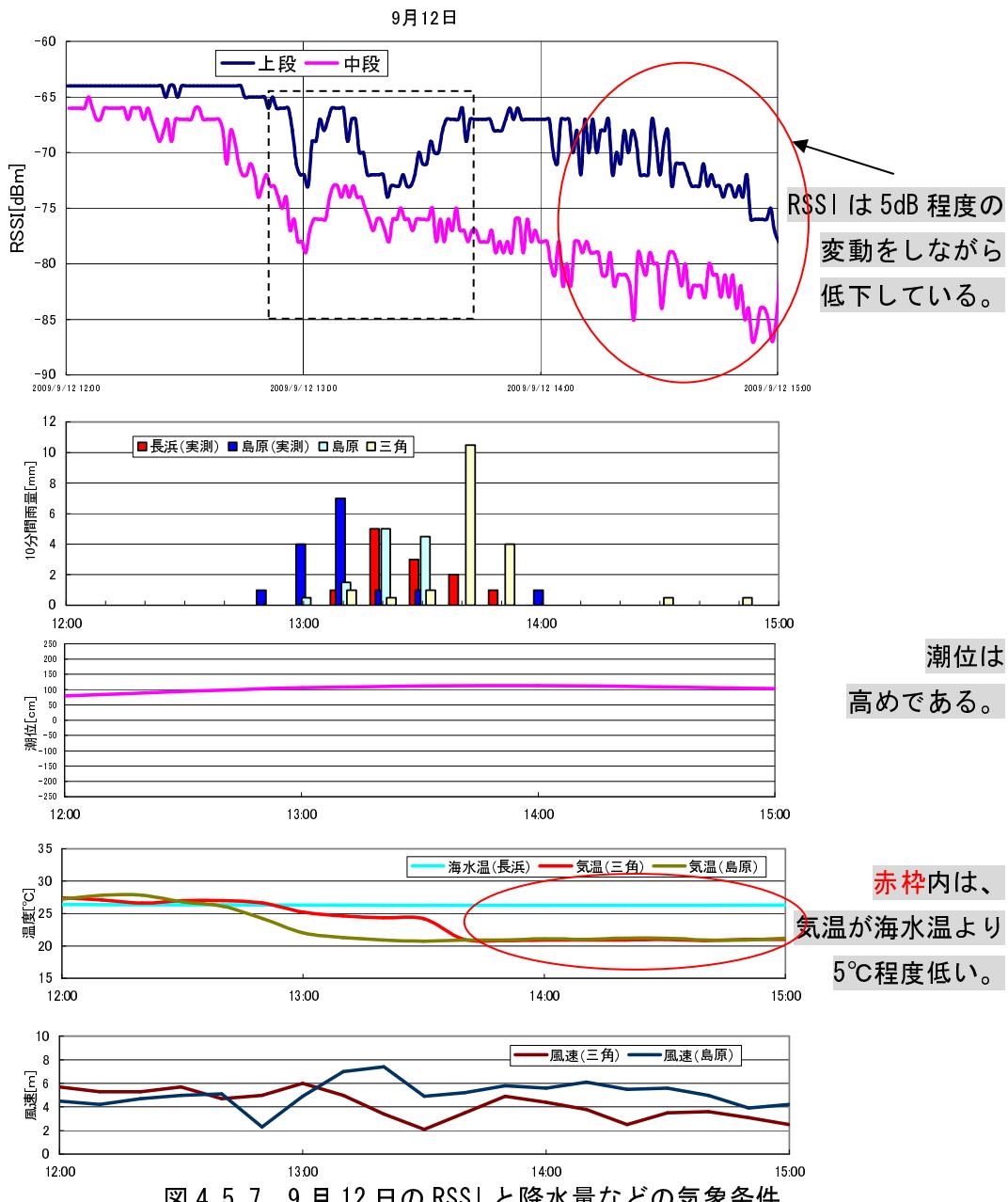


図4.5.7 9月12日のRSSIと降水量などの気象条件

ア 降雨以外の気象条件について

- ① 潮位は、満潮であり、RSSIへの落ち込みに影響を与えると思われる。
- ② 14時以降、気温が海水温より5°C程度低く、RSSIが変動すると思われる。
- ③ 風速は、島原、三角ともに6m程度記録されている時間（13時頃や14時頃）がある。その時間は、RSSIの変動が安定する方向に働くと思われる。

イ 降雨とRSSIの関係について

- ① 12時50分頃までは、RSSIは安定している。

- ② 13時頃（島原で10分間雨量4mm）と13時20分頃（長浜で10分間雨量5mm）に約8dBのRSSIが落ち込んでいる。ただし、その後、島原で10分間雨量7mm降っている間にRSSIが上昇している。
- ③ 降雨後の14時以降のRSSIの変動及び低下は、気温が海水温より5°C程度低いことや潮位が高めであることが影響していると思われる。

(7) 10月2日10時から18時

10月2日の降水量とRSSIおよび気象条件を図4.5.8に示す。

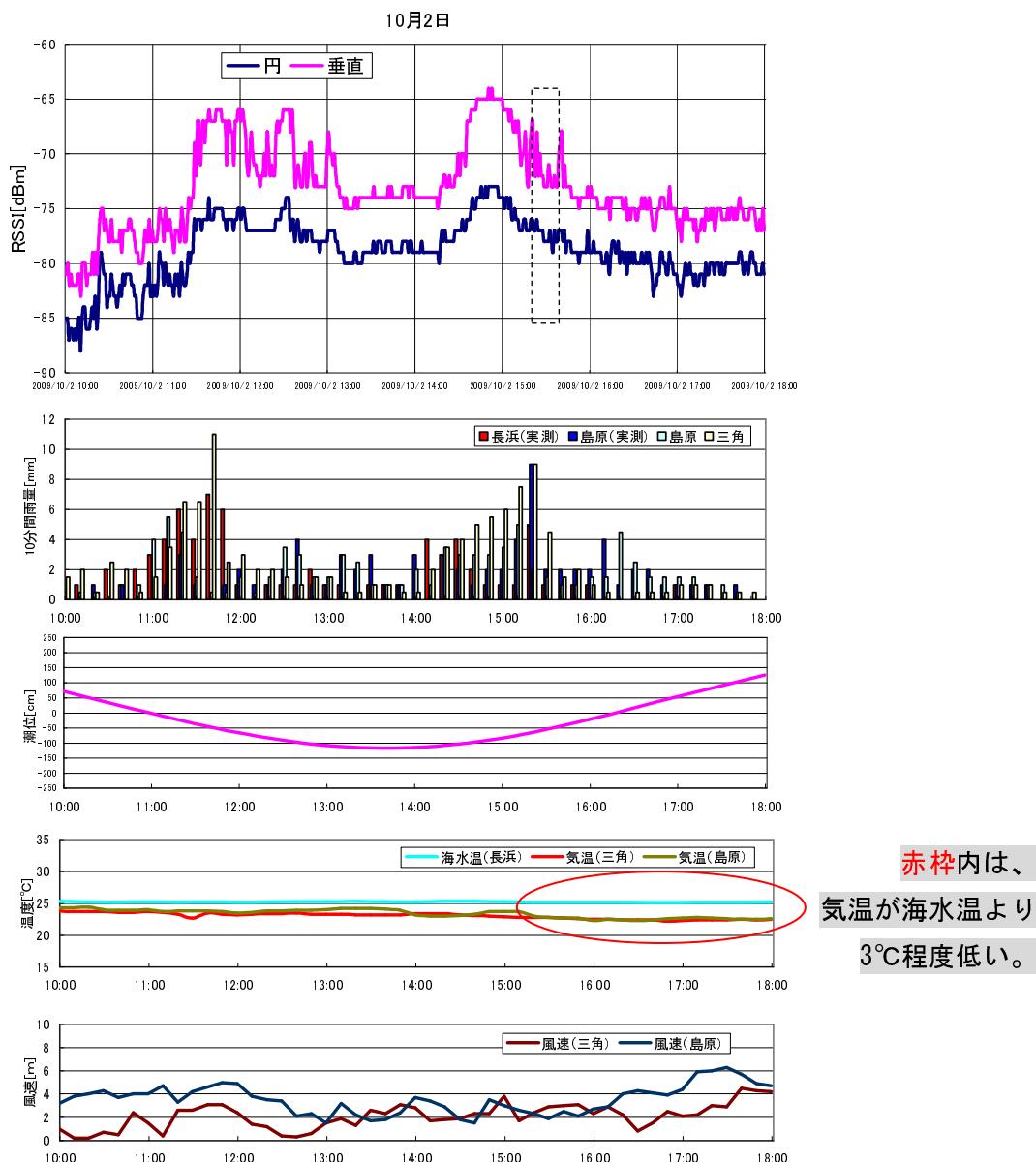


図4.5.8 10月2日のRSSIと降水量などの気象条件

ア 降雨以外の気象条件について

- ① 潮位は、干潮であり、RSSIへの影響はないと思われる。
- ② 16時以降、気温が海水温より3°C程度低く、RSSIが2、3dB程度変動すると思われる。
- ③ 風速は、17時30分頃、島原で6m、三角で4m程度であるが、RSSIの変動には影響が少ないと思われる。

イ 降雨と RSSI の関係について

- ① 10時30分から12時30分頃（長浜での10分間雨量2mm～7mm）および15時30分頃（島原での10分間雨量9mm）にRSSIが5dB程度変動する。
- ② 13時から14時30分頃にRSSIは-75dBm程度である。潮位の関係から-65dBmで推移すると思われる。このとき、1時間雨量10mm程度で断続的に降り続いている。
- ③ 16時以降のRSSIの2、3dBの変動は、海水温と気温に相関関係があると思われる。

(8) 降雨減衰モデルとの比較

降雨の影響によるRSSIの減衰と思われる箇所について降雨減衰モデルとの比較を行う。ここで、

- ① 降雨量は、実測の雨量計の降水データを時間雨量換算
- ② 降雨による理論値は、図2.9.1のグラフより算出する。ただし、無線区間内で一定量の雨が降ったと仮定する。
- ③ アンテナの水滴付着による減衰量は、アンテナ散水試験の結果より算出した。
- ④ 合計の減衰量は、降雨による減衰量（推定値）にアンテナの水滴付着による減衰量を加えて算出した。
- ⑤ 実際の減衰量は、RSSIの測定値より算出した。

ア 7月25日

時間：10時40分から11時頃

降雨量：長浜局のみ時間雨量約90mm

降雨による減衰量（推定値）：7.5dB程度

アンテナの水滴付着による減衰量：1.7dB程度（長浜局のみ）

合計の減衰量：9.2dB程度

実際の減衰量：10dB程度

イ 8月15日

時間：5時から6時頃

降雨量：長浜局時間雨量約66mm、島原局時間雨量約60mm

降雨による減衰量（推定値）：4.0dB程度

アンテナの水滴付着による減衰量：3.0dB 程度

合計の減衰量：7dB 程度

実際の減衰量：14dB 程度

(9) 考察

ア 海上電波伝搬では種々の要因が同時に生じることにより、RSSI が安定していないため、単純な降雨減衰量の判断が難しい。

イ 降雨時に RSSI が落ち込んでいる時（8月15日の5時から6時、9月12日の13時、10月2日の15時過ぎなど）もあるが、RSSI が上下に変動している時（7月11日の11時過ぎ、7月25日の11時頃など）もある。

ウ 潮位や気温などの影響を取り除くと、RSSI の変動は、

- ① 降雨前は、安定している。
- ② 降雨時は、降下もしくは、変動する。
- ③ 降雨後しばらくの間は、変動もしくは、徐々に上昇する。
- ④ 降雨後十分な時間の経過後は、安定する。

である。降雨後、すぐに RSSI がもとに戻らないのは、アンテナへ付着した水滴が乾くまでの時間や湿度の上昇の影響などが考えられる。

エ 時間雨量 120mm の降水は、試験期間中に記録されなかったため、長距離海上電波伝搬への影響は調査できなかった。しかし、図 3.4.5 の CDF から求めた回線信頼度が時間雨量 60mm の時と比較して、約 33% 悪化するため、降雨減衰量およびアンテナへの水滴付着による減衰量を考慮して回線設計することを推奨する。

4.6 通信品質についての結果

(1) FTP 評価試験

FTP 評価試験で、QPSK 変調方式にて、実効速度 9Mbps であった。(9Mbps は、公称速度 18Mbps の約半分である。実効速度は、概ね公称速度の半分であった。)

(2) 映像伝送評価試験

映像伝送評価試験で、RSSI-87dBm まで、6Mbps 圧縮の映像伝送ができた。上段円偏波アンテナ-上段円偏波アンテナ間の CDF では、-87dBm 以下は約 1% であり、回線信頼度は、99% である。円偏波受信 SD 方式の場合は、-87dBm 以下はほとんど 0% であり、回線信頼度は、ほぼ 100% である。

(3) パケットロス評価

パケットロス評価で、上段円偏波アンテナ-上段円偏波アンテナ間の約 99.3% は、パケットエラー率が 10% 以下であった。

(4) 通信品質

本試験回線では、99% 程度の割合で、9Mbps 帯域の通信が可能であると思われる。

現状、映像伝送には 6Mbps の帯域があれば良好な品質が得られる。今回の試験では、この 6Mbps (MPEG2) 圧縮にて伝送を行い十分実用となることが確認された。また、9Mbps の実効速度より、MPEG2 を 2Mbps 程度に圧縮すれば、4 本程度の画像を伝送できる。今後、主流になるであろう H.264 で映像圧縮すれば、更に効果的な画像伝送が可能である。

しかし、ディジタル特有のスレッシュホールド-87dBm を下回る場合、急激にブラックアウトが確認される等、マージンの少ない回線でのリスクを感じた。このリスク回避のためにも SD を構成し、より品質の良い回線構築が必要である。

4.7 試験結果検証

本試験での結果概要は、以下のとおりである。

- (1) 気温が海水温より高くなり、温度差が広がると水蒸気の影響で、短時間で激しく受信レベル (RSSI) が変動する。
- (2) 風速が強いときは、海上が荒れ、細かな波が多数発生し、海面で反射する海面反射波が、波面の影響で乱反射状態になり、反射波がアンテナに届きにくくなり、受信レベル (RSSI) が安定する。
- (3) 潮位の変化による受信レベル (RSSI) の変動との関連性が見られる。
- (4) 気象・海象条件下での影響は、風速>気温と海水温>潮位の順で、受信レベル (RSSI)への影響があると考えられる。
- (5) アンテナ設置高は、ハイトパターン上のトップに設置することが望ましい。
- (6) 偏波面の長軸の角度や軸比は変動しており、垂直偏波と水平偏波の両偏波成分をもつ円偏波アンテナが良いと考えられる。
- (7) 円偏波受信 S D 方式は、潮位、気温と海水温の温度差で生じる受信レベル (RSSI) 変動に効果が得られた。円偏波受信 S D アンテナ離隔距離は、ハイトパターンのトップ（最大地点）とヌル（最小地点）の半分の間隔でも十分な効果が得られた。
- (8) 気象条件等により受信レベル (RSSI) が常に安定していないため、単純に降雨減衰量の判断は難しいが、降雨時および降雨後しばらくは、RSSI は降下、もしくは、変動している。
- (9) 降雨減衰特性に関して、豪雨 (60mm/h) により 2dB (20km) 程度の減衰が見込まれる。また、パラボラアンテナの一次放射器等への水滴付着により 3dB 程度の減衰が見込まれる。
- (10) 回線信頼度は、
 - ① 公称速度 18Mbps (受信感度 -77dBm) 設定において、円偏波受信 S D 方式を使用し、実効速度 9Mbps で約 90% の回線信頼度が確保された。

② 20km海上伝搬路の回線設計では、-73.44dBm となっており、実効速度 12Mbps 程度確保する場合（公称速度 24Mbps、受信感度-74dBm）の回線信頼度は約 75%である。これは気温と海水温、潮位による受信レベル（RSSI）の変動が影響しているためである。
この回線信頼度を 95%程度に上げるには、回線設計値から受信レベル（RSSI）変動分として 5dB 程度の回線マージンを考慮する必要がある。

(11) 通信品質については、画像伝送に可能な-87dBm（本試験の受信機感度）以上の RSSI を試験期間の 99%で確保できた。円偏波受信 S D 方式にすると、-87dBm（本試験の受信機感度）以上の RSSI がほぼ 100%確保できた。

第5章　まとめ

5.1 信頼性のある長距離海上電波伝搬に必要な対策

5.1.1 気象変化に対する一般的なシステム対策

(1) 長期的受信レベル変動（潮位）に対する対策

5GHz 帯無線アクセスシステムによる長距離海上電波伝搬において、潮位により比較的長い時間でゆるやかに受信レベル(RSSI)が変動（以下「長期的受信レベル変動」という。）する。潮位は、地球の自転や月の引力と密接に関連し、1日で約2周期の満潮と干潮を繰り返し、さらに、1ヶ月に約2周期の大潮と小潮を繰り返す。気象庁の潮位観測情報などで、おおまかな潮位変動は、予測可能である。この潮位が上下することで、海面反射波が変化し、受信レベル(RSSI)が潮位に連動して緩やかに変化する。

本試験において、潮位に対する円偏波受信SD方式の優位性が得られたことから、長期的受信レベル変動（潮位）に対する対策は、円偏波SD方式を用いることにより、常に高い受信レベル(RSSI)を選択できるため、長距離海上電波伝搬において、有効かつ必要な対策である。

なお、SD方式の2つのアンテナ高に対する受信レベル(RSSI)の変化については、ハイトパターンの計算で予測は可能である。この回線設計の計算から、ハイトパターン上のトップ（最大地点）とヌル（最小地点）に各アンテナを設置することが最適で望ましいが、現実にはトップとヌルのアンテナ間離隔の確保が困難な場合が考えられる。本試験において、アンテナ間離隔が、最適間隔の半分程度のアンテナ間隔でも、SDの効果があることが判明したため、アンテナ間離隔の確保の実現性も高くなると考えられる。

(2) 短時間受信レベル変動（水蒸気等）に対する対策

5GHz 帯無線アクセスシステムによる長距離海上電波伝搬において、気温と海水温との関係で発生する水蒸気等と思われる影響（解説は別に委ねたい。）で、短時間に受信レベル(RSSI)が急激に変動（以下「短時間受信レベル変動」という。）することがわかった。この短時間受信レベル変動は、潮位による長期的受信レベル変動と比較して、発生時間も変動レベルも予測することが難しい。

短時間受信レベル変動の対策として、長期的受信レベル変動と同様に円偏波SD方式が有効である。現在、5GHz 帯無線アクセスシステムで採用されているSD方式は、高い受信レベル(RSSI)のアンテナを選択している切り替え方式である。一定レベルまで受信レベル(RSSI)が低くなったときにアンテナを切り替える方式でも回線の信頼性向上には効果はあるが、切り替えのメカニズムに更なる工夫が必要と思われる。

S/D切り替え時の通信回線の瞬断が問題になる多重無線装置では、同相合成のS/D方式が一般的に使用されている。同相合成の場合、位相を合わせて合成するため、単純な切り替え方式より通信回線の信頼性は高い。

(3) 集中豪雨に対する対策

5GHz帯無線アクセスシステムによる長距離海上電波伝搬において、降雨による減衰と断定するだけのデータは得られなかったものの、降雨時及び降雨後しばらくの間に受信レベル(RSSI)が減衰もしくは、変動が確認された。

ここでは、集中豪雨に対する対策をまとめる。

図5.1.1に図3.4.5で使用したCDFから求めた回線信頼度を示す。

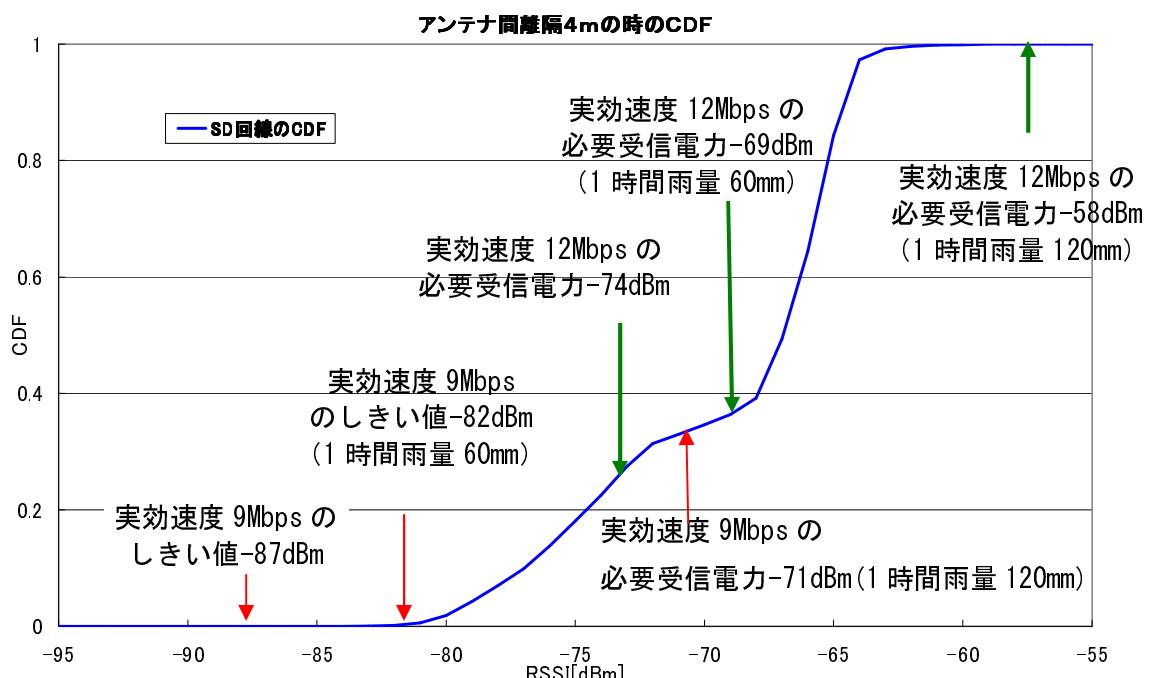


図5.1.1 CDFから求めた回線信頼度

ア アンテナ本体への水滴付着

使用するアンテナがパラボラタイプの場合は、できる限り水滴等が付着しにくい対策（レドームタイプ）を推奨するが、対策が困難な場合は、あらかじめ回線設計に3dB程度（1時間雨量60mm）のマージンを考慮することが望ましい。

イ 降雨による減衰

集中豪雨が10km、20km位の範囲で発生する確率が高くなっていることから、回線設計に2dB程度（1時間雨量60mm）のマージンを考慮することが望ましい。

5.1.2 20km超の長距離海上電波伝搬に向けて

本試験では、さまざまな対策等により約20kmの長距離海上電波伝搬において、安定的（約9Mbpsの伝送速度の通信）に通信回線が確保されている。これを基に更なる長距離での通信回線モデルを示す。

ここでは、30kmの距離で回線設計を行う。図5.1.2に回線構成のモデルを、表5.1.1に受信電力計算結果を示す。

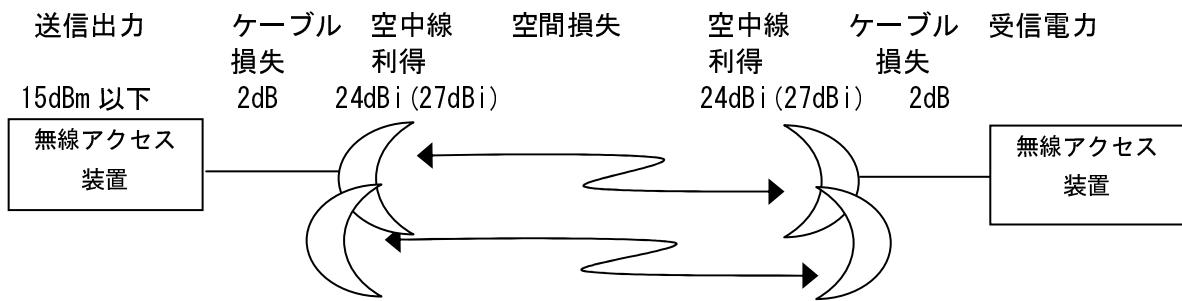


図5.1.2 回線構成モデル

表5.1.1 受信電力計算結果

項目	円偏波S D回線	円偏波S D回線 アンテナ利得+3dBi
区間距離	30km	30km
送信出力	15dBm 以下	15dBm 以下
ケーブル損失（送信側）	2dB	2dB
空中線利得（送信側）	24dBi	27dBi
空間損失	135.79dB	135.79dB
空中線利得（受信側）	24dBi	27dBi
ケーブル損失（受信側）	2dB	2dB
回線設計受信電力	-76.79dBm	-70.79dBm
※回線マージンを考慮した受信電力	-86.79dBm	-80.79dBm

(1) 回線設計の受信電力は、-76.79dBmであり、表5.1.2の5GHz帯無線アクセスシステムの公称速度と受信電力より、18Mbps(QPSK)の公称速度が期待される。

しかしながら、本試験のような条件下を想定した30kmの長距離海上電波伝搬では、長期的受信レベル変動や短時間受信レベル変動が予想されることから、5.1.1で示された対策が必要である。

※例えば、

降雨マージン 3dB

集中豪雨マージン 2dB

長期・短時間受信レベル変動マージン 5dB

の10dB程度のマージンを考慮した回線設計とする必要がある。

このため受信電力は、-86.79dBmとなり、ある期間は、回線設計上の公称速度6Mbpsも確保できない信頼性の低い通信回線となることが予想される。

表5.1.2 5GHz帯無線アクセスシステムの公称速度と受信感度

規格	IEEE802.11j（標準規格値）							
公称速度 (Mbps)	6	9	12	18	24	36	48	54
受信感度 (dBm)	-82	-81	-79	-77	-74	-70	-66	-65
変調方式	BPSK		QPSK		16QAM			64QAM

(PER=10% ⇌ BER=10E-5)

(2) (1)のことから、アンテナ利得を3dBi上げ、27dBi（※電波法の設備規定では、24dBi以下である。27dBiは技術的に実現可能な値である。）にした場合、

回線設計の受信電力は、-70.79dBmであり、表5.1.2の5GHz帯無線アクセスシステムの公称速度と受信感度より、36Mbps(16QAM)の公称速度が期待される。

降雨マージン、集中豪雨マージン、長期・短時間受信レベル変動マージンの10dBを考慮した場合は、-80.79dBmになり、回線設計上の公称速度9Mbpsは可能である。

5.1.3 より信頼性向上のために要求される対策等

(1) 気象変化に対する回線マージンの採用

5GHz帯無線アクセスシステムの回線設計時に、気象変化による受信レベル変動分を考慮して設計することが信頼向上のために必要である。気象条件によって受信レベル変動が発生しても影響が少ない通信回線であれば、より信頼性の高い通信回線となることから、気象変化に対する回線マージンを10dB程度考慮した回線設計を推奨する。

(2) 円偏波SD受信方式（切り替え方式、同相合成方式）の採用

長期的受信レベル変動に対し、最適なアンテナ間離隔の場合は、受信レベル(RSSI)の高い回線を選択すれば、信頼性の高い回線になることから、円偏波SD受信方式（切り替え方式）考慮した回線設計を推奨する。

なお、一般的な多重無線装置で使用されている同相合成方式のSDでは、位相を同

相に変えて合成を行っているため、長期的受信レベル変動に対しても、短時間受信レベル変動に対しても有効と考えられるが、方式が複雑なため、装置は高価になる。

(3) 電波法令等の規定の見直しの必要性

ア 電波法の無線設備規則第 49 条の 21 の規定では、※EIRP37dBm（空中線電力 24dBm(250mW) + アンテナ利得 13dBi）以下の規格となっている。(1)の回線設計に基づく場合、規格の EIRP37dBm では十分な回線マージンによる回線設計ができないことが考えられる。ここで、現在のアンテナ製作技術では、アンテナ利得を 27dBi 程度に上げることは比較的容易であることから、例えば、長距離海上電波伝搬路の回線線設計において、本試験で利用したアンテナ利得 24dBi (EIRP37dBm) を 27dBi の高利得送受信パラボラアンテナを採用 とすることにより、送信側 3dB (EIRP40dBm) と受信側 3dB の 6dB の余裕ができることになる。

また、本試験のように、長距離海上電波伝搬路であって一定の条件の下での 27dBi (EIRP40dBm) のアンテナ利用では、他の局への混信妨害などの影響はほとんど無いものと考えられる。このことから登録局である 5GHz 帯無線アクセスシステムの EIRP の 3dB 程度の増加 (EIRP40dBm) について、規定の見直しなどの検討が望まれる。

※EIRP とは、実効放射電力 (Equivalent Isotropic Radiated Power もしくは、Effective Isotropic Radiated Power) の略であり、ある一定方向に放射される電波の電力の強さのことである。

イ 降雨減衰マージンについては、例えば、電波法関係審査基準（別紙 1（第 4 条関係）無線局の局種別審査基準）の固定局の「伝送の質」を計算する際、10GHz を超える場合は降雨減衰マージンを考慮することとなっている。ここで、本試験の結果及びつぎの 5.2 での記述から、5GHz 帯の周波数で長距離海上電波伝搬路に通信回線を構築する場合など、5GHz 帯の周波数を利用する無線システムについて、必要な降雨減衰マージンを考慮できるような同審査基準（別図第 34 号、第 35 号及び第 36 号など）の見直しの検討が望まれる。

5.2 長距離海上伝搬路の問題点と今後の展開

(1) 平成 21 年度発生の集中豪雨について

平成 21 年 7 月 19 日から 26 日にかけて、中国地方及び九州北部地方に「平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨」（気象庁によって命名された）が発生した。熊本や島原では、1 時間雨量 60mm 以下であったが、福岡市や長崎県壱岐市などでは、1 時間雨量 120mm 近くの降雨を記録した。

図 5.2.1 に期間最大 1 時間降水量を示す。また、表 5.2.1 に 1 時間降水量の多かった 10 地点を示す。

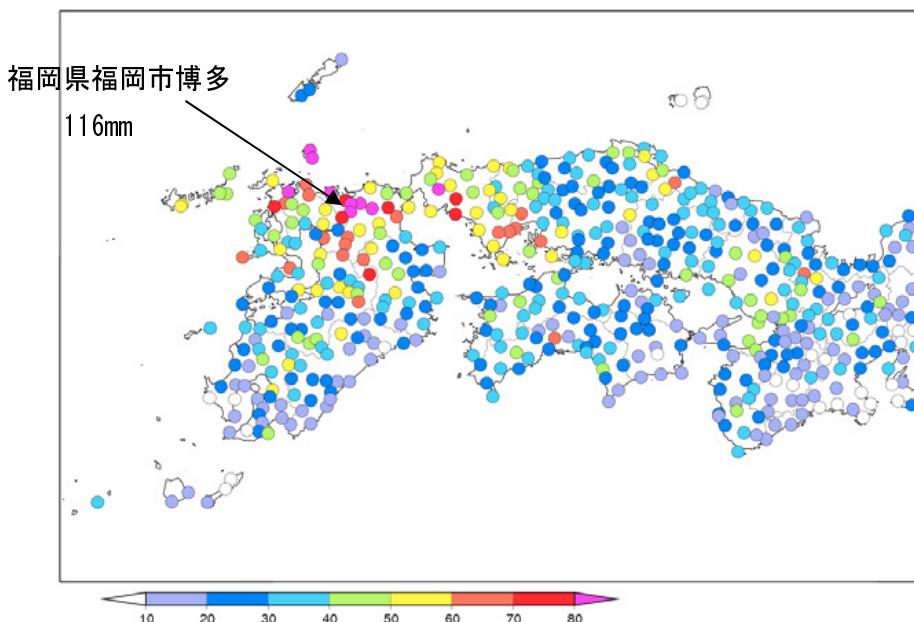


図 5.2.1 期間最大 1 時間降水量分布図（アメダス：7 月 19 日～26 日）

表 5.2.1 1 時間降水量の多い方から 10 地点（アメダス：7 月 19 日～26 日）

順位	都道府県	市町村	地点名（よみ）	降水量		
				（mm）	月日	時分
1	福岡県	福岡市博多区	博多（ハカタ）	116.0	7/24	19:25
2	長崎県	壱岐市	石田（イシダ）	111.0	7/24	16:55
3	長崎県	壱岐市	芦辺（アシベ）	103.0	7/24	16:32
4	福岡県	飯塚市	飯塚（イイヅカ）	101.0	7/24	19:52
5	福岡県	糟屋郡篠栗町	篠栗（ササグリ）	100.5	7/24	19:30
6	福岡県	前原市	前原（マエバル）	92.0	7/24	19:20
7	山口県	美祢市	桜山（サクラヤマ）	90.5	7/21	07:50
8	福岡県	太宰府市	太宰府（ダザイフ）	84.0	7/24	20:04
9	長崎県	松浦市	松浦（マツウラ）	81.0	7/26	09:21
10	福岡県	筑紫郡那珂川町	九千部山（クセンブヤマ）	80.0	7/26	11:18

（中国、四国、九州地方の地点に限る）

図 5.2.1 と表 5.2.1 は、平成 21 年 7 月 27 日気象庁報道発表資料から

(2) 100 年後の集中豪雨について

表 1.1.1 の近年の集中豪雨（九州地方）や(1)の「平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨」から近年、九州地方でも頻繁に集中豪雨が発生していることから、今後の降雨傾向について調査した。

以下は、平成 21 年 9 月福岡管区気象台・長崎海洋気象台・沖縄気象台発行の「異常気象レポート 九州・山口県・沖縄版 2009 九州・山口県・沖縄の異常気象と気候変動～その実態と見通し～」（以下、「異常気象レポート」という。）から関係部分を抜粋したものである。

ア 降水量の変化

図 5.2.2 は九州・山口県付近の降水量、降水強度（期間降水量 ÷ 日降水量 1mm 以上の降水日数）の 100 年後の変化を表したもので、年、1 月、7 月の各平均分布図である。

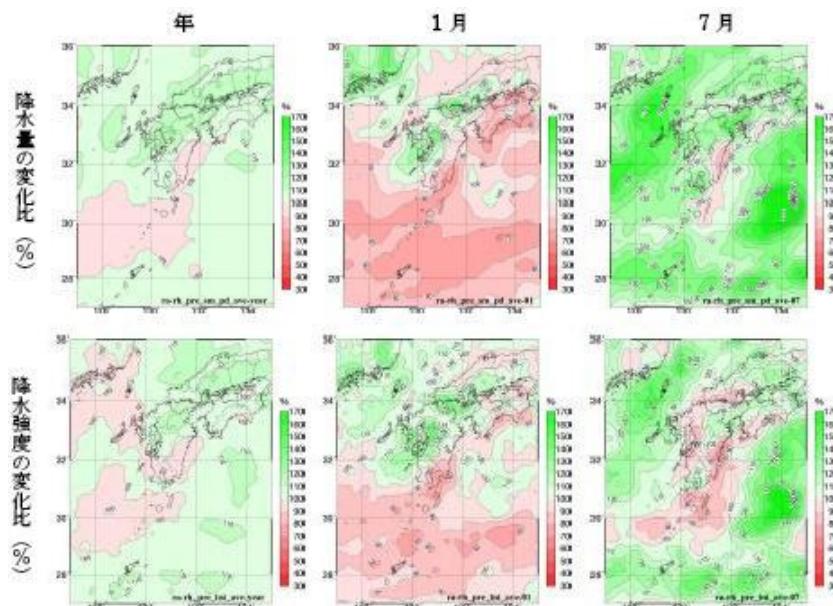


図 5.2.2 約 100 年後の降水変化

※RCM20 によって計算された 2081～2100 年平均値と 1981～2000 年平均値との差または比
RCM20 とは、気象庁および気象研究所で、日本域の詳細な温暖化予想を目的に、開発した水平解像度 20 km の地域気候モデルである。

① 図 5.2.2 の 1 段目は、約 100 年後の降水量が現在と比較してどの程度変化するか示した分布図である。年降水量は、九州南部の一部で減少するほかは増加し、九州北部地方の一部では 20% 以上増加が予想される。1 月降水量は、九州北部地方で増加するが、九州南部以南の広い範囲では減少すると予測される。7 月の降水量は、概ね年降

水量と同様の変化傾向で、九州南部太平洋側を除く広い範囲で増加し、多いところでは50%以上の増加が予測される。

2段目は降水強度の変化分布図で、約100年後の1回あたりの降水量が現在と比較してどうなるかを示す。年と1月は概ね降水量の増加する地域に対応して増加が予測される。7月は九州山地の西側で降水量の増加が予測されるが、無降水日数の減少（降水日数の増加）に対応して降水強度の減少が予想される。

- ② 図5.2.3は、月降水量について、予測実験と再現実験との比を九州北部地方、九州南部、奄美地方の地域毎に平均して比較したグラフである。図5.2.3より、九州北部地方で、6~10月に、九州南部と奄美地方では7月~10月に現在より降水量が増加していることがわかる。

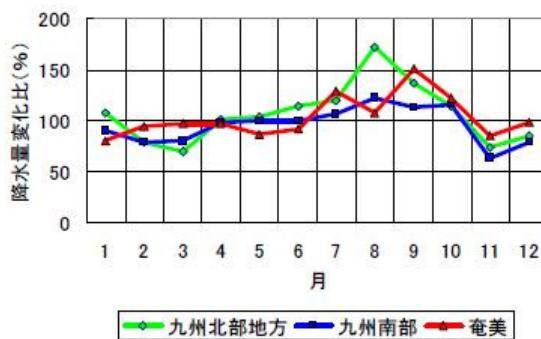


図5.2.3 約100年後の月降水量の変化比（単位：%）

※RCM20によって計算された2081~2100年平均値と1981~2000年平均値との比

イ 日降水量50mm以上となる日の年間出現日数の変化

図5.2.4は、1日の降水量が50mm以上となる日の年間出現日数の変化分布図で、約100年後に現在と比べてどの程度変化するかを示している。

九州北部地方では概ね増加と予想され、3日以上増加する地域もあるが、九州南部の太平洋側ではやや少なくなると予想される。

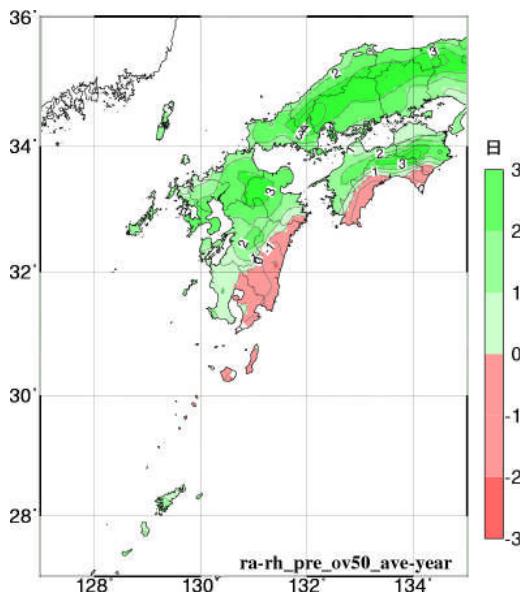


図 5.2.4 約 100 年後の日降水量 50mm 以上の年間日数の変化 (単位 : 日)

※RCM20 によって計算された 2081～2100 年平均値と 1981～2000 年平均値との差

ウ 日降水量 100mm 以上となる日の年間出現日数の変化

図 5.2.5 は、大雨の目安である 1 日の降水量が 100mm 以上となる日の年間出現日数の変化分布図で、約 100 年後に現在と比べてどの程度変化するか差を示す。九州北部地方では概ね増加と予測され、多いところで 1.5 日以上増加する地域もあるが、九州南部ではやや減少する予測となっている。

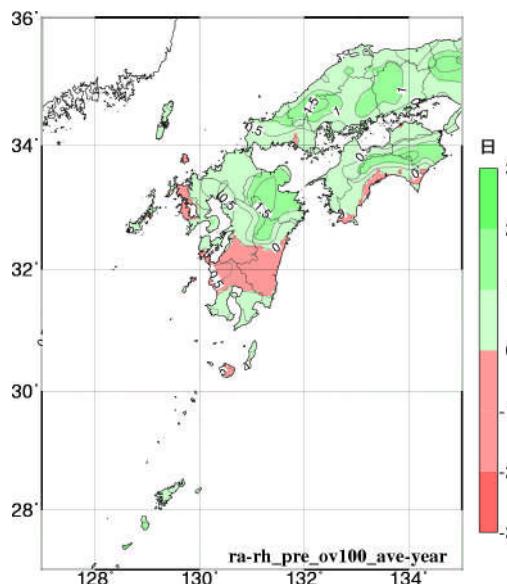


図 5.2.5 約 100 年後の日降水量 100mm 以上の年間日数の変化 (単位 : 日)

※RCM20 によって計算された 2081～2100 年平均値と 1981～2000 年平均値との差

以上、異常気象レポートから降水量の変化に関する部分の抜粋したところ、約 100 年後は、「平成 21 年中国・九州北部豪雨」のあった九州北部地方では、「日降水量 100mm 以上の大雨の日数は増加する」と報告されている。

本調査検討のテーマある長距離海上電波伝搬路においては、今後、集中豪雨による電波伝搬への影響も考慮する必要があると思われる。

(3) 100 年後の気温の変化

温暖化による気温の上昇について調査する。(2)と同じく、「異常気象レポート 九州・山口県・沖縄版 2009 九州・山口県・沖縄の異常気象と気候変動～その実態と見通し～」から気温に関係する部分抜粋した。

本項では、100 年後の気温上昇予測について記述するが、気温上昇には、最近の 30 年間の変化が著しいことや本調査検討伝搬試験地の特徴が記述されていることから参考として同レポートから関係部分を抜粋する。

ア 真夏日および猛暑日の日数（30 年前との比較）

図 5.2.6 に、日最高気温が 30°C 以上（真夏日）および 35°C 以上（猛暑日）の 30 年前と最近の 10 年間の平均日数を比較した分布図を示す。真夏日の日数および猛暑日の日数はそれぞれ 1955 年以降、1963 年以降で増加傾向がある。30 年前（1968～1977 年）に比べた最近（1998～2007 年）の真夏日および猛暑日の平均日数はそれぞれ約 1.4 倍、約 3.3 倍の出現頻度である。また、30 年前と比べて最近は、真夏日が全ての地点で増加している。特に種子島で真夏日が 32 日ほど増加しているほか、熊本県や沿岸部の下関でも 20 日以上増加している。猛暑日の日数は熊本と日田を中心にほとんどの地点で増加している。なお、真夏日・猛暑日の日数の日数とともに都市部で増加傾向が大きいという特徴はなく、少なくとも最近数十年間においては都市化による影響は大きくないものと考える。

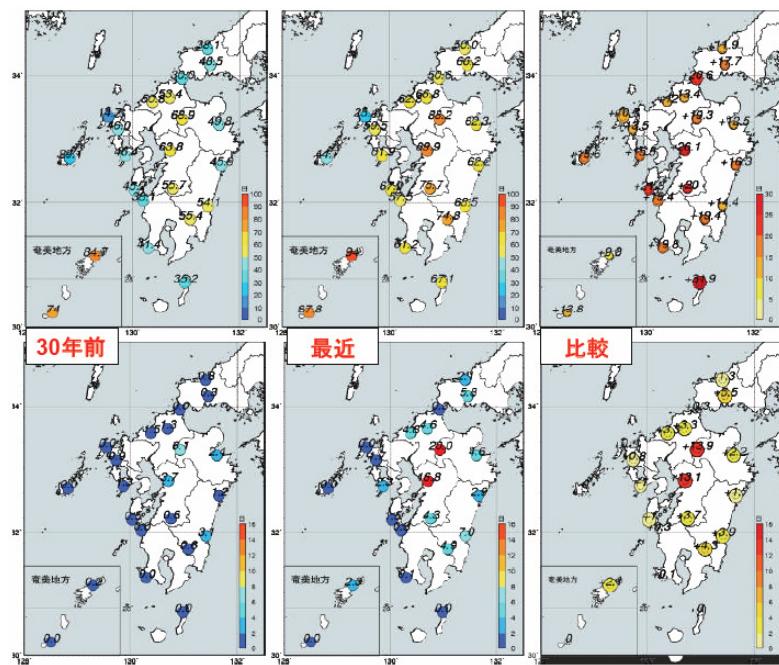


図 5.2.6 (上) 真夏日および (下) 猛暑日の日数の平均出現数と変化の分布図

30 年前 : 1968~1977 年の 10 年平均、最近 : 1998~2007 年の 10 年平均、

比較 : 最近と 30 年前の比較

イ 平均気温の変化

図 5.2.7 は九州・山口県付近の約 100 年後の平均気温が現在と比較してどの程度上昇するかを差で示した分布図である。年、1 月、7 月のいずれも全域で温度上昇が予想されるが、7 月に比べ 1 月は昇温量が 1°C 程度大きい。地域間に顕著な差はみられないが、低緯度に位置する奄美地方の昇温量がやや小さい程度である。

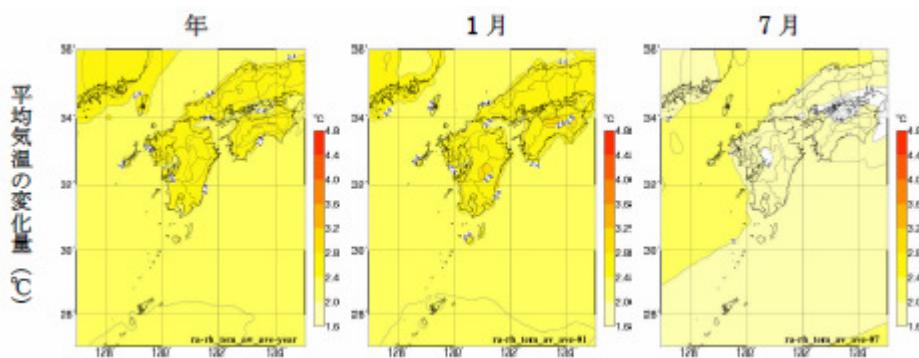


図 5.2.7 約 100 年後の平均気温の変化

RCM20 によって計算された 2081~2100 年平均値と 1981~2000 年平均値との差または比。

左列から年平均、1 月平均、7 月平均

ウ 日最高気温 30°C以上となる日（真夏日）の年間出現日数

日最高気温が上昇することから、日最高気温 30°Cとなる日（真夏日）の年間日数も全国的に増加し、その中でもより低緯度ほど日数の増加が予測されている。

図 5.2.8 は、九州・山口県付近の年間の真夏日日数が約 100 年後にどの程度増加するのかを差で示す。これをみると、約 100 年後は、九州山地以外の地域で 10 日以上、沿岸部では 20 日以上の増加が予測され、特に九州南部の一部や奄美地方では 30 日以上の増加が予測される。

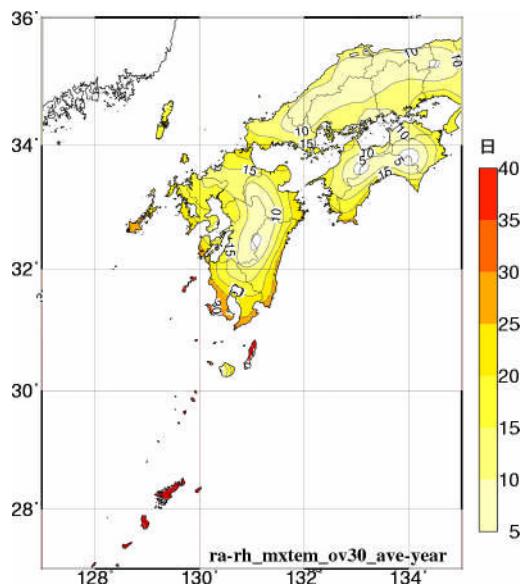


図 5.2.8 約 100 年後の日最高気温 30°C以上（真夏日）の年間出現日数の変化（単位：日）

RCM20 によって計算された 2081～2100 年平均値と 1981～2000 年平均値との差

エ 日最高気温 35°C以上となる日（猛暑日）の年間出現日数

真夏日とともに猛暑日の日数も増加する。全国的に変化は小さく、一部地域で数日の増加が予測されている。

図 5.2.9 は九州・山口県付近の年間の猛暑日日数が約 100 年にどの程度増加するのかを差で示す。図 5.2.9 より、沿岸部を中心に多いところで 4 日程度の増加が予測されている。

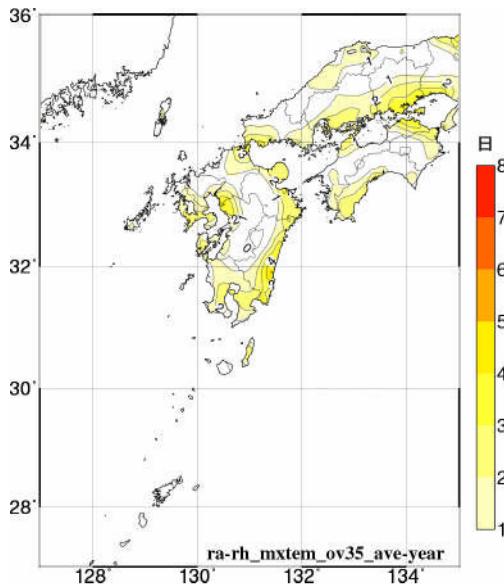


図 5.2.9 約 100 年後の日最高気温 35°C以上（猛暑日）の年間出現日数の変化（単位：日）
RCM20 によって計算された 2081～2100 年平均値と 1981～2000 年平均値との差

以上、異常気象レポートから気温の変化に関する部分の抜粋をしたところ、最近の 30 年間で、真夏日、猛暑日の増加傾向及び 100 年後には、気温上昇に伴い、真夏日、猛暑日の更なる増加が予測されている。

本調査検討では、長距離海上伝搬路での電波伝搬特性として、気温と海水温の温度差による受信レベル (RSSI) の激しい変動について考察したが、気象条件の要素である「気温」の今後の長期間に及ぶ変化が海上電波伝搬特性に与える影響を十分考慮する必要がある。

(4) まとめ

本試験で受信レベル (RSSI) に影響を与えた気象・海象条件（集中豪雨のとき及び気温が海水温を上回ったとき）は、100 年後の気象・海象の動向から、受信レベル (RSSI) に更なる影響を与えると思われる。

本調査検討電波伝搬試験結果では、集中豪雨時に、受信レベル (RSSI) の低下もしくは変化が起き、気温が海水温の一定の温度差が出来る時間帯では、受信レベル (RSSI) の細かな変動が起きることが確認された。

今後、5GHz 帯無線アクセスシステムによる長距離海上電波伝搬特性の信頼性を高めるためには、本調査検討結果による無線アクセスシステムの信頼性モデルを基に、更に今後の気象・海象条件の変化を十分に考慮する必要がある。

5.3 今後の課題

今回の「5GHz 帯無線アクセスシステムの長距離海上電波伝搬特性及び集中豪雨減衰に関する調査検討」で、夏季の気温が海水温を大きく（6°Cから 7°C差）上回っているときに、受信レベル(RSSI)が短い周期で激しく変動する短時間受信レベル変動が明らかになった。この受信レベル(RSSI)の短い周期での激しい変動の詳細を調査し、そのメカニズムを解析できればより良いシステムの構築が可能であろう。

調査方法としては、夏季の海水温と気温の温度差が大きな時に、スペクトラムアナライザによる周波数特性及び、遅延特性を調査することで、マルチパスや選択性フェージングの状態が判明すると思われる。

図 5.3.1 にマルチパス、選択性フェージングの測定をするための構成図を示す。



図 5.3.1 マルチパス、選択性フェージング測定構成図

本試験中に偏波面の測定を行い、「3.3.2 偏波面の評価試験」の測定データのように、水平偏波成分が垂直偏波成分より大きいことや長軸の角度や軸比が変化していることがわかった。ただし、測定期間が短いこともあり、各種気象・海象条件での長軸の角度や軸比の変化の関連性が把握できなかった。

特に、夏季の温度差の大きい時にどのような変化をしているかを調査することで、アンテナの偏波面についてより深く考察することができる。

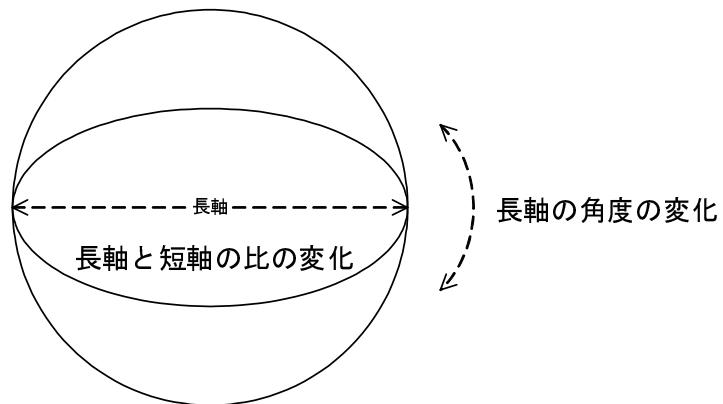


図 5.3.2 偏波面

資 料

5 GHz 帯無線アクセスシステムの長距離海上電波伝搬特性 及び集中豪雨減衰に関する調査検討会 開催趣旨

政府は「IT新改革戦略」(06年1月、IT戦略本部決定)の政策目標を推進するため、本年度「IT政策ロードマップ」及び「重点計画-2008」を決定した。IT基盤整備は、重点計画の大きな柱とされ、国民の誰もが「いつでも、どこでも」ブロードバンド環境を利用可能とするために、2010年度までにブロードバンド・ゼロ地域を解消することが示されている。総務省では、経済危機対策を柱とする総額3,955億円の平成21年度総務省所管補正予算(案)を取りまとめ、2010年のブロードバンド・ゼロ地域解消のさらなる加速を目指している。

しかしながら、九州地域では全国に比較して、ブロードバンドの整備率は低い傾向にあることから、九州地域の地理的特徴である離島等への整備促進が喫緊の課題であるとの認識のもと、昨年度「離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した無線アクセスシステム構築のための調査検討会」を開催した。

この調査検討会では、中・長距離の海上電波伝搬試験等を実施し、距離毎に適した無線アクセスシステム構築の提案を行った。提案では、中・長距離いずれの距離でも「5 GHz 帯無線アクセスシステム」を中心にシステムを構築することが推奨されており、今後システム構築を進めるためには「5 GHz 帯無線アクセスシステム」の信頼性の向上等が成否の鍵となると考えられる。

このため、本調査検討会では、「5 GHz 帯無線アクセスシステム」の中継系通信回線としての長距離海上電波伝搬の技術的特性及び最近の特徴的な気象現象である短時間の集中豪雨時の降雨減衰の特性調査のための伝搬試験を実施するなど、更なる調査検討を実施し、電波の効率的な利用に資するとともに、成果を審査基準等に反映させることで周波数の有効利用に貢献することを目的に開催する。

5 GHz帯無線アクセスシステムの長距離海上電波伝搬特性 及び集中豪雨減衰に関する調査検討会 開催要綱

(名 称)

第1条 この調査検討会は「5GHz帯無線アクセスシステムの長距離海上電波伝搬特性及び集中豪雨減衰に関する調査検討会」(以下「調査検討会」という。)と称する。

(目 的)

第2条 本調査検討会は、本土等から長距離に位置する離島との無線ブロードバンドによる中継系通信回線として5GHz帯無線アクセスシステムを選定し、長距離海上電波伝搬特性及び近年の降雨の特徴である短時間集中豪雨時の減衰特性について技術的調査検討を実施し、より信頼性を高めるとともに、周波数の有効利用に貢献することを目的とする。

(調査検討事項)

第3条 調査検討会は、前条の目的を達成するために、次の事項について調査検討を行う。

- (1) 5GHz帯無線アクセスシステムの特徴、電波伝搬特性の把握
- (2) 降雨時期、長距離海上電波伝搬試験による技術的要件等の調査検討
- (3) 集中豪雨時の降雨減衰特性の把握
- (4) その他必要な事項

(構 成)

第4条 調査検討会は、九州総合通信局長の委嘱を受けた別紙に掲げる構成員をもつて構成する。

(組 織)

第5条 調査検討会には座長を置く。

- 2 座長は構成員の互選により選出する。
- 3 座長は、調査検討会の審議を促進するため作業部会を開催することができる。

4 調査検討会の事務局は、九州総合通信局企画調整課に置き、運営は、九州総合通信局が調査検討会の運営を委託する者がこれを支援する。

(運 営)

第6条 調査検討会は座長が召集し、主宰する。

2 調査検討会を召集するときは、構成員に対しあらかじめ日時、場所及び議題を通知する。

3 その他、運営に関する事項は調査検討会において定める。

(報 告)

第7条 座長は、調査検討会の調査検討が終了したときは、その結果を九州総合通信局長に報告する。

(開催期間)

第8条 調査検討会は、平成21年5月13日から平成22年1月末までを目途に開催する。

(会議の公開)

第9条 調査検討会は、原則として公開とする。ただし、当事者又は第三者の権利、利益や公共の利益を害する恐れがある場合等、座長が必要と認める場合は、その全部又は一部を非公開とすることができます。

附 則

この要綱は平成21年5月13日から施行する。

別紙

5 GHz 帯無線アクセスシステムの長距離海上電波伝搬特性

及び集中豪雨減衰に関する調査検討会

構成員

(五十音順、敬称略)

佐々木 誠 アンリツネットワークス株式会社

常務執行役員 開発本部長

橋本 博 西日本電信電話(株)九州事業本部

九州ブロードバンド推進室長

福迫 武 国立大学法人熊本大学大学院 自然科学研究科

情報電気電子工学専攻 准教授

松岡 徹 日本電業工作株式会社

取締役 R F システム事業部長

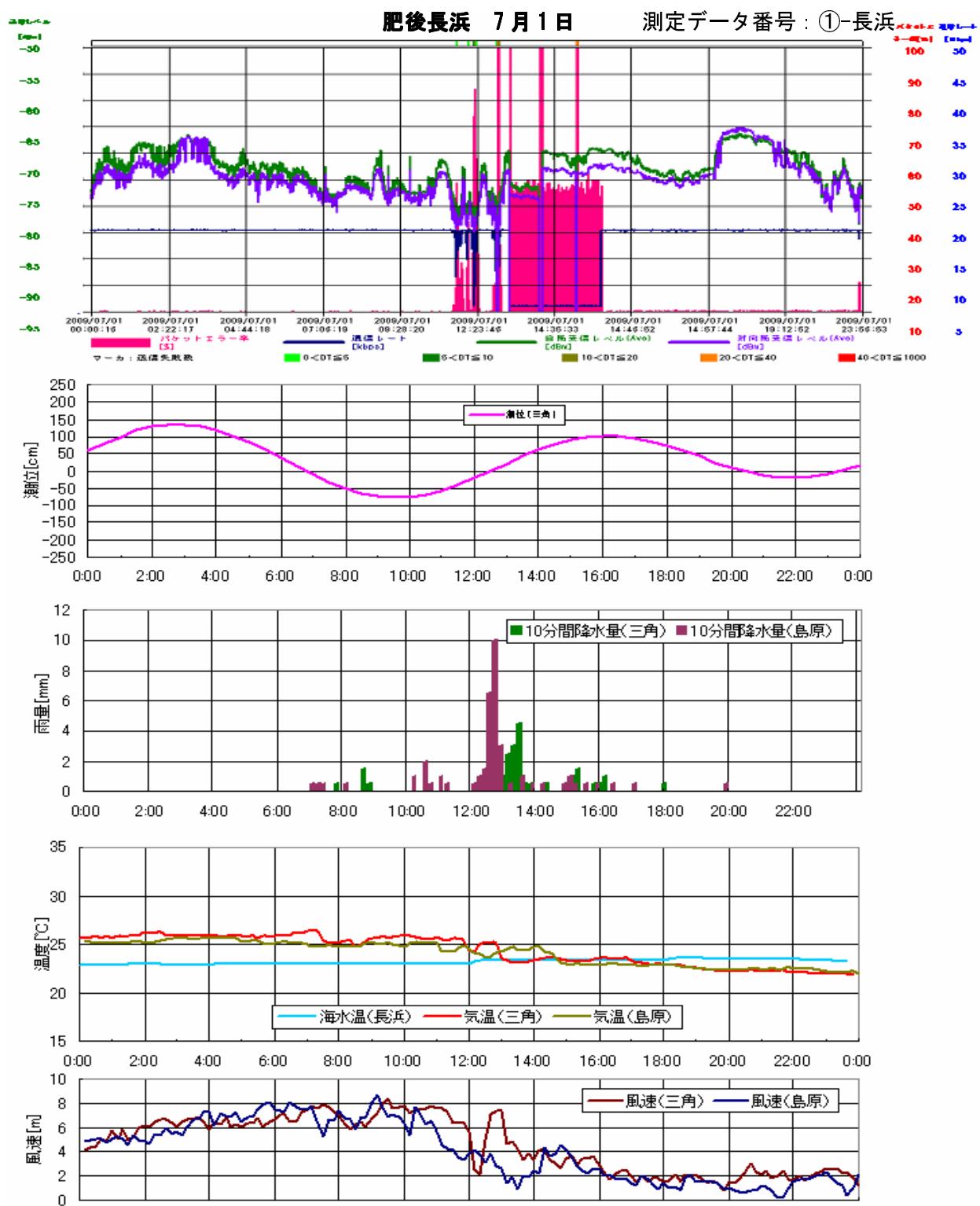
調査検討会にご協力いただいた関係者一覧

【電波伝搬試験への協力団体・企業等】

網田町漁業共同組合
日本電業工作株式会社
西日本電信電話株式会社 島原白土局
株式会社ケーブルテレビジョン島原
島原市 総合政策課
アンリツネットワークス株式会社
日本無線株式会社

(敬称略、順不同)

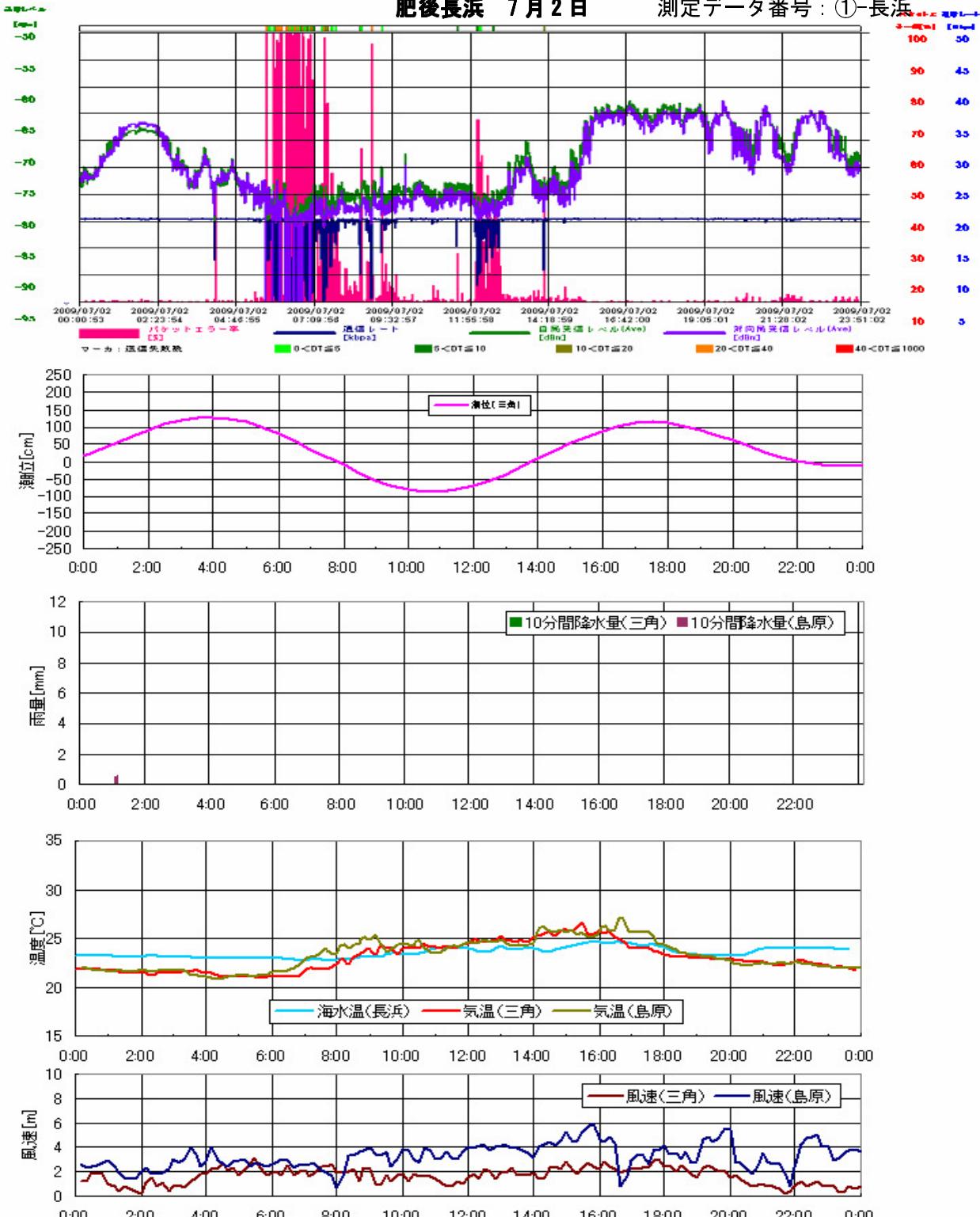
別 冊



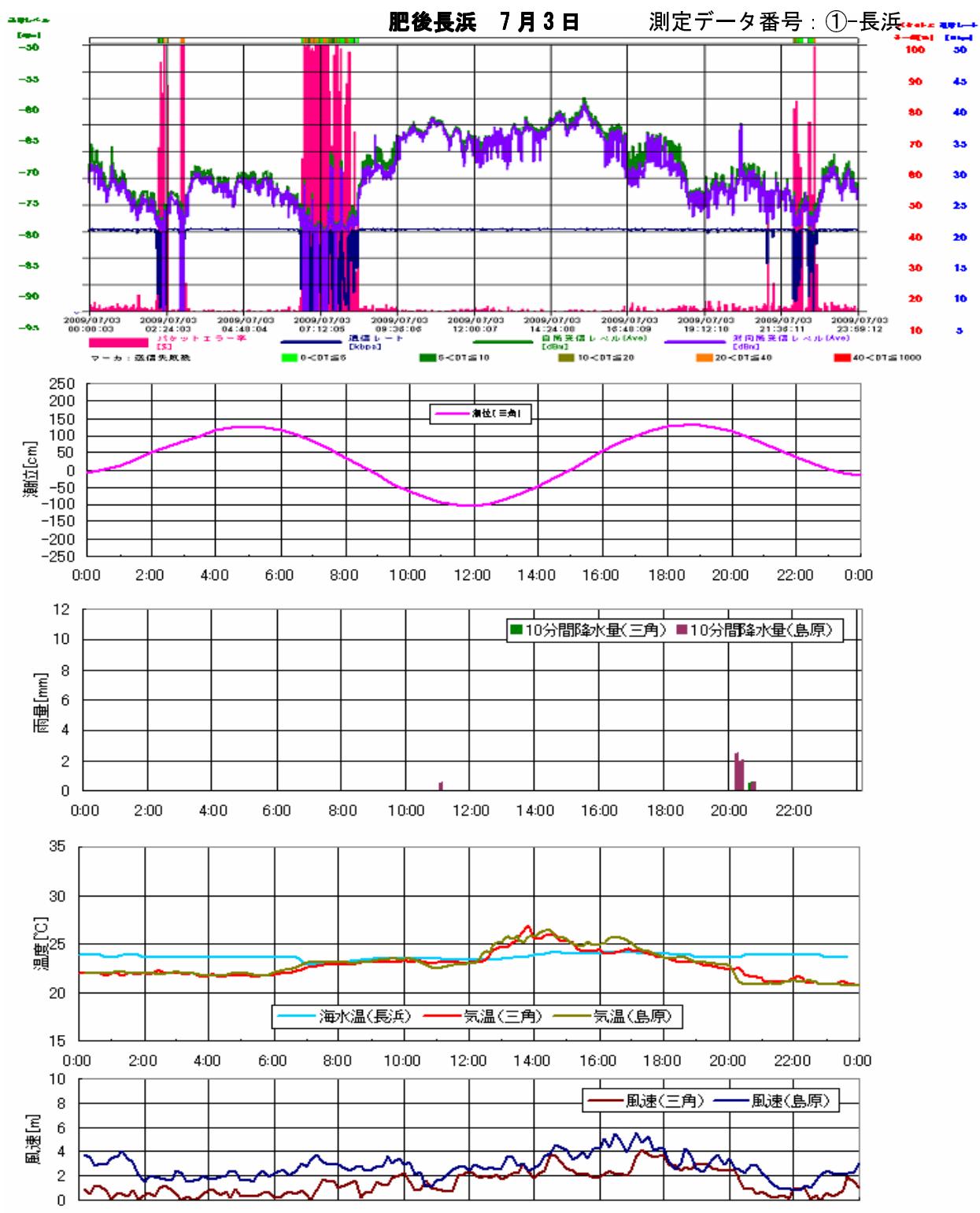
時刻	3	6	9	12	15	18	21
天候	晴	雨	晴	晴	快晴	快晴	快晴
視程	15km	15km	15km	20km	20km	20km	20km

肥後長浜 7月2日

測定データ番号：①-長浜

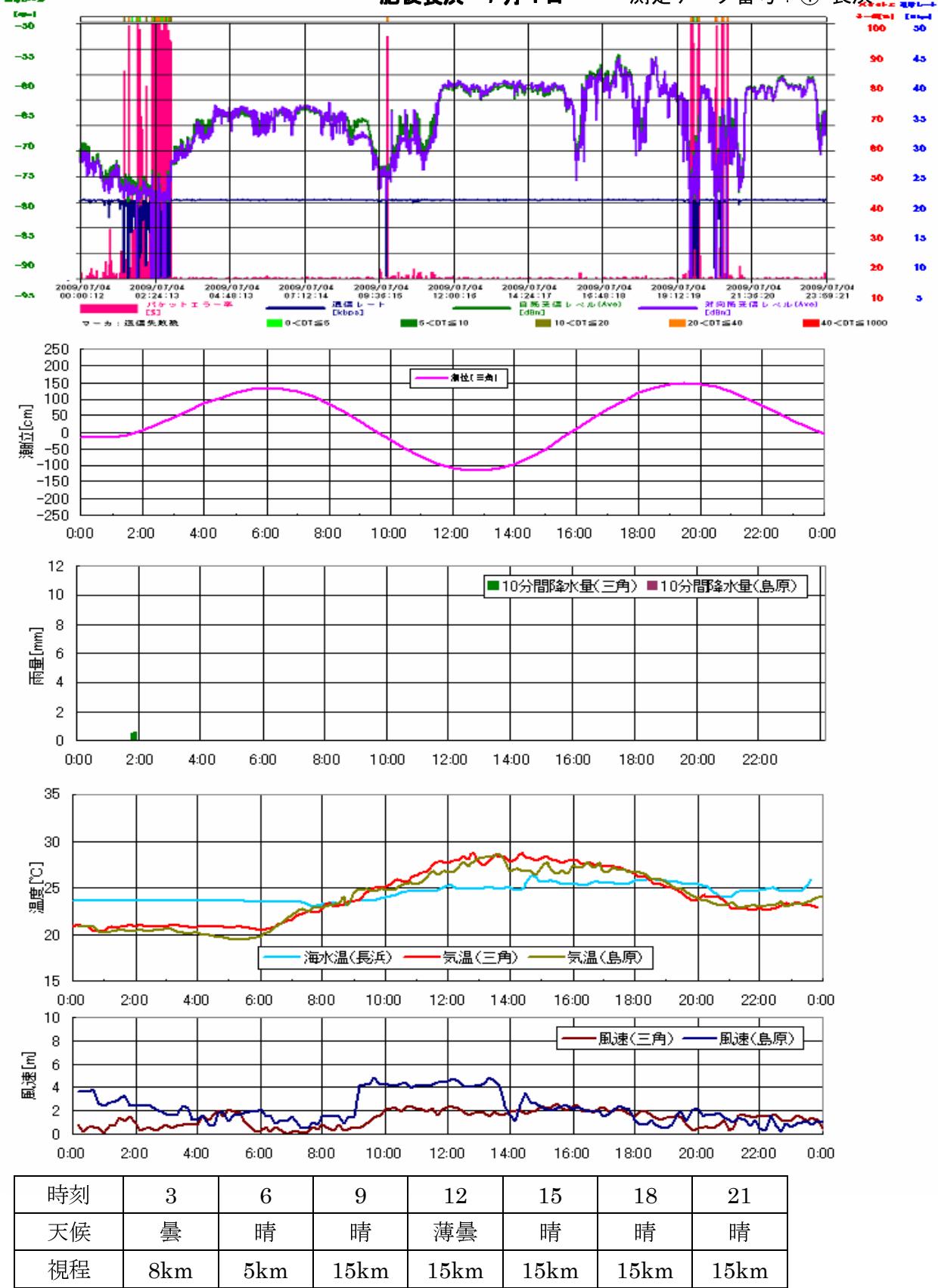


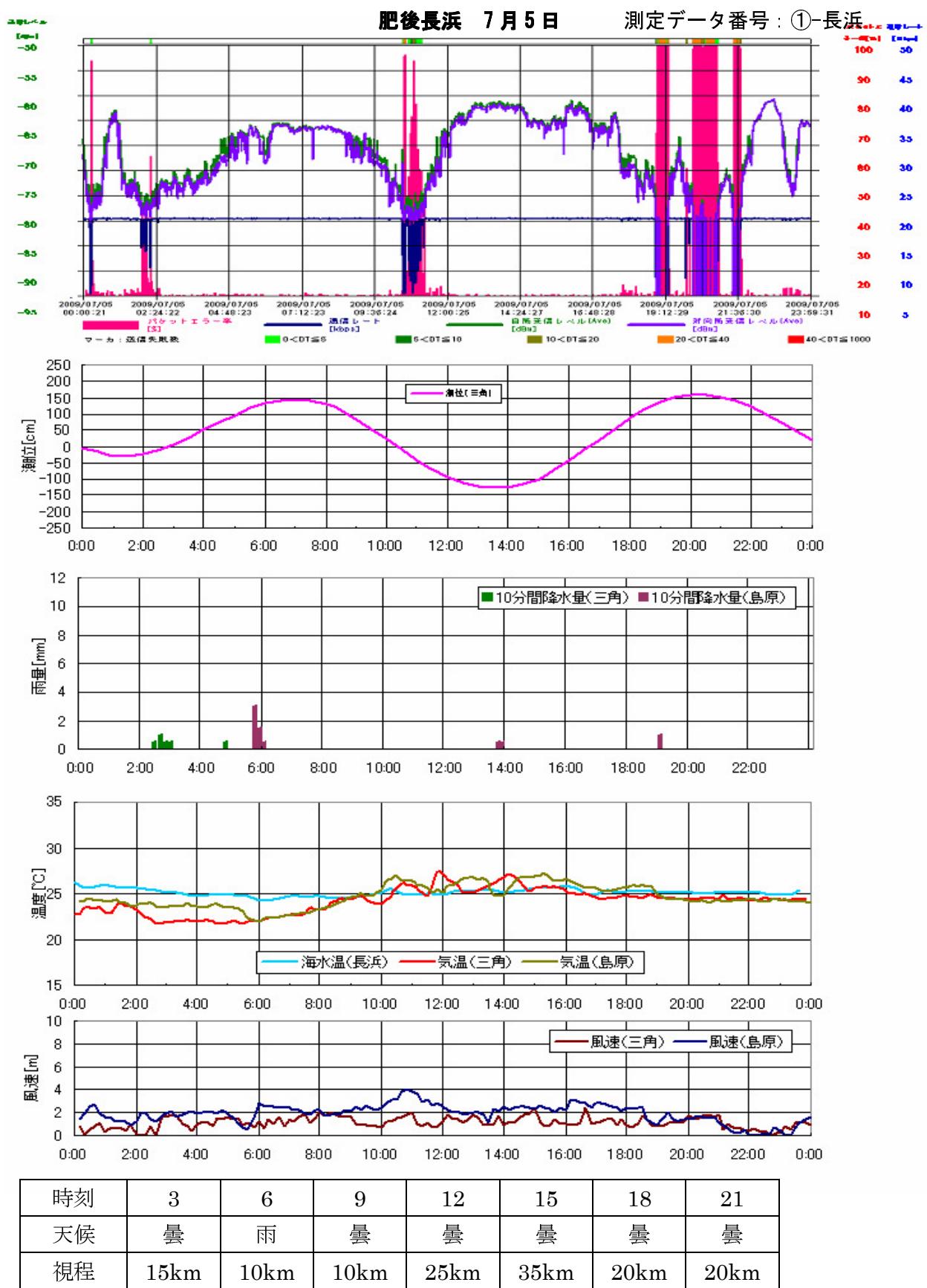
時刻	3	6	9	12	15	18	21
天候	曇	曇	薄曇	薄曇	曇	薄曇	薄曇
視程	15km	15km	20km	30km	30km	25km	20km



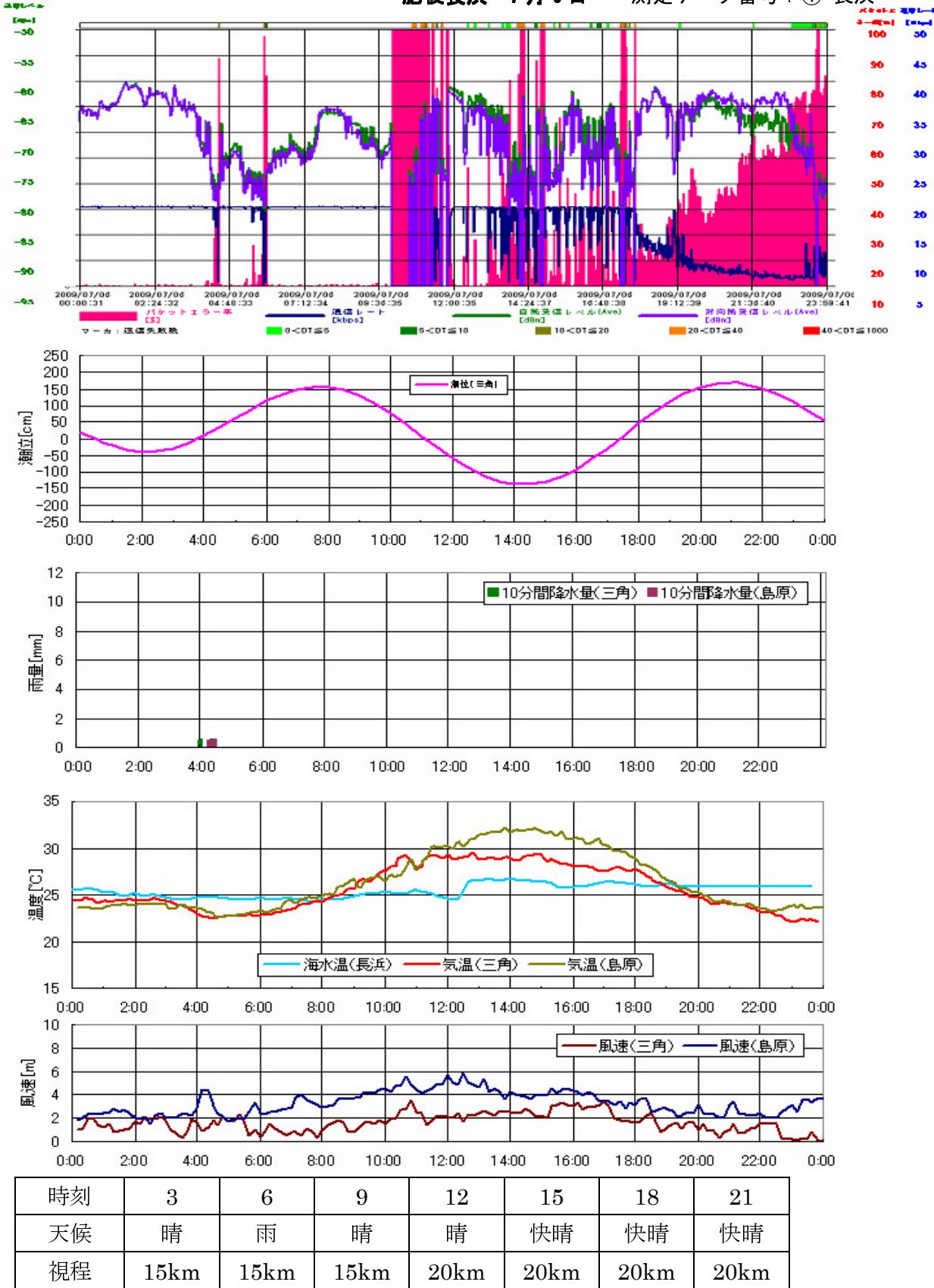
時刻	3	6	9	12	15	18	21
天候	薄曇	曇	曇	雨	曇	曇	雨
視程	15km	15km	10km	6km	15km	10km	8km

肥後長浜 7月4日 測定データ番号：①-長浜



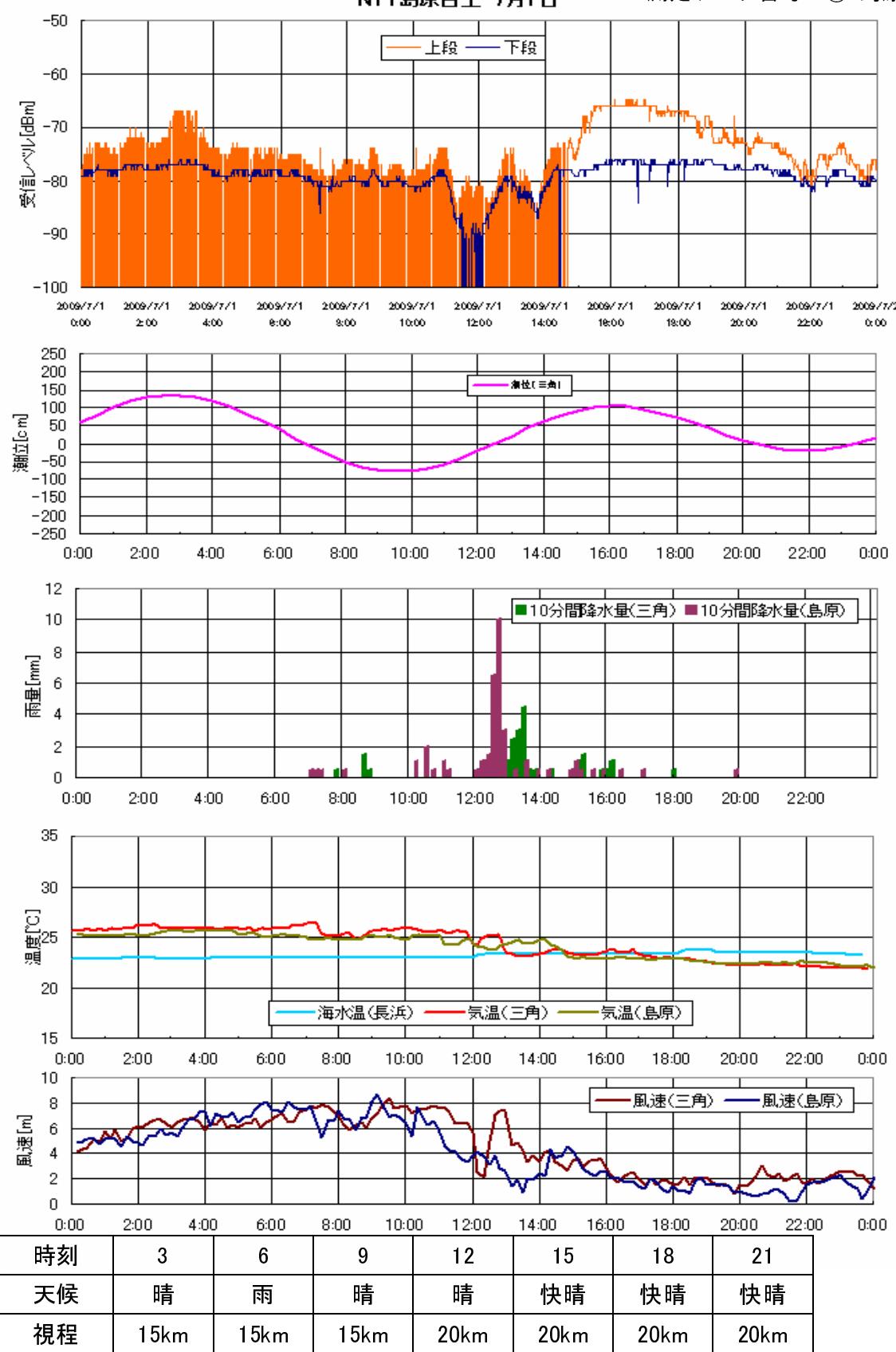


肥後長浜 7月6日 測定データ番号：①-長浜



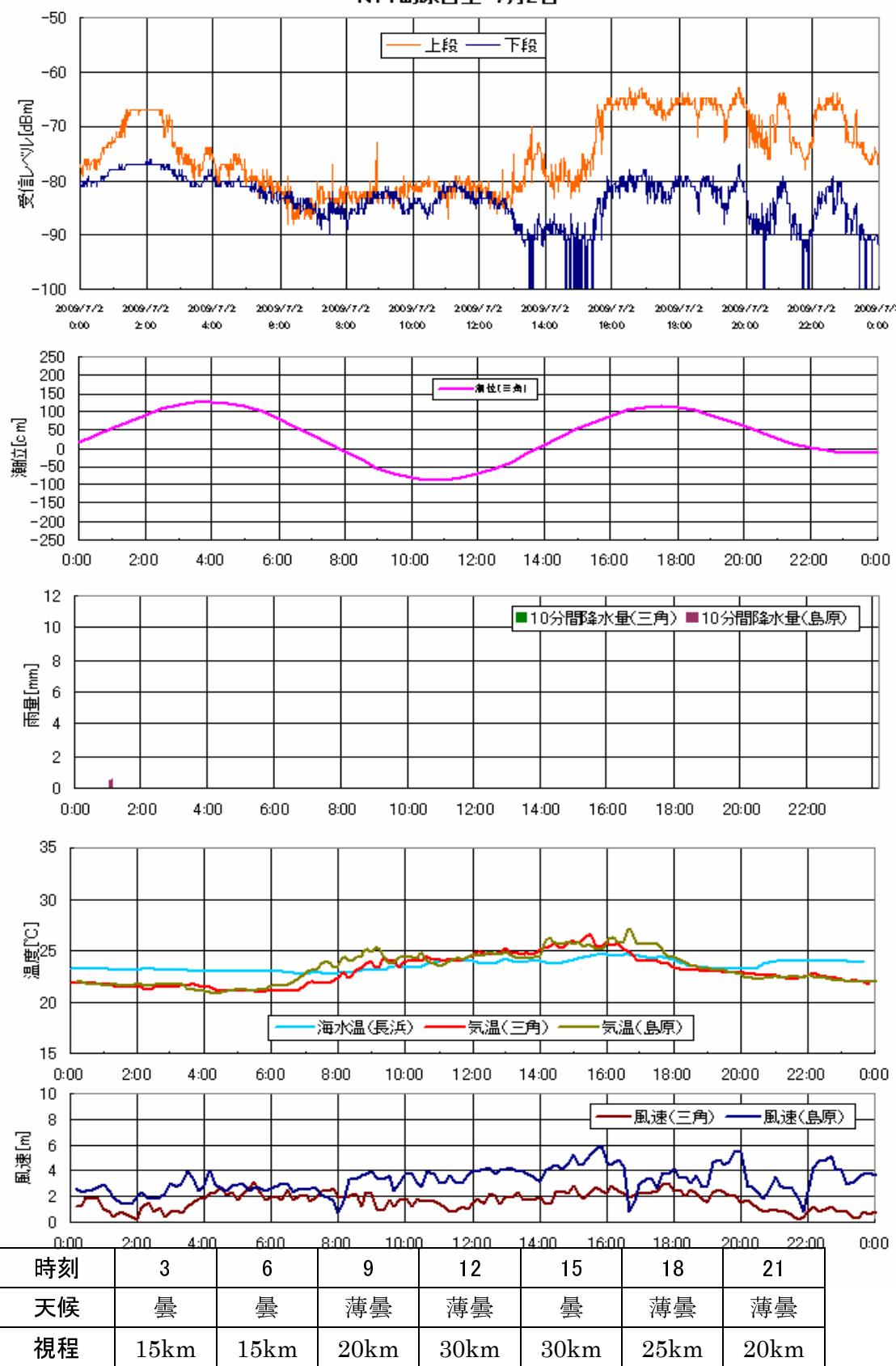
NTT島原白土 7月1日

測定データ番号：①-島原



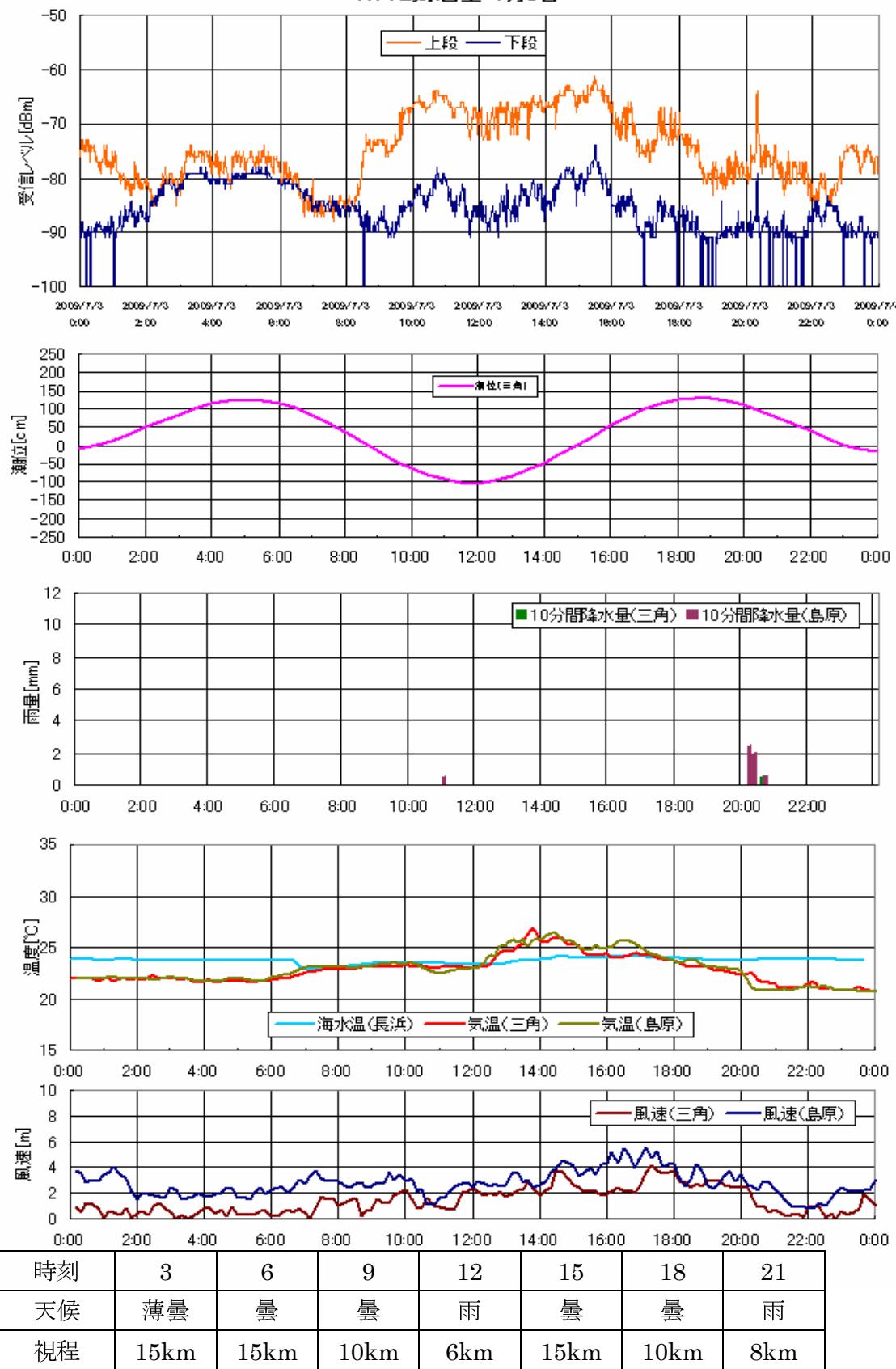
NTT島原白土 7月2日

測定データ番号：①-島原



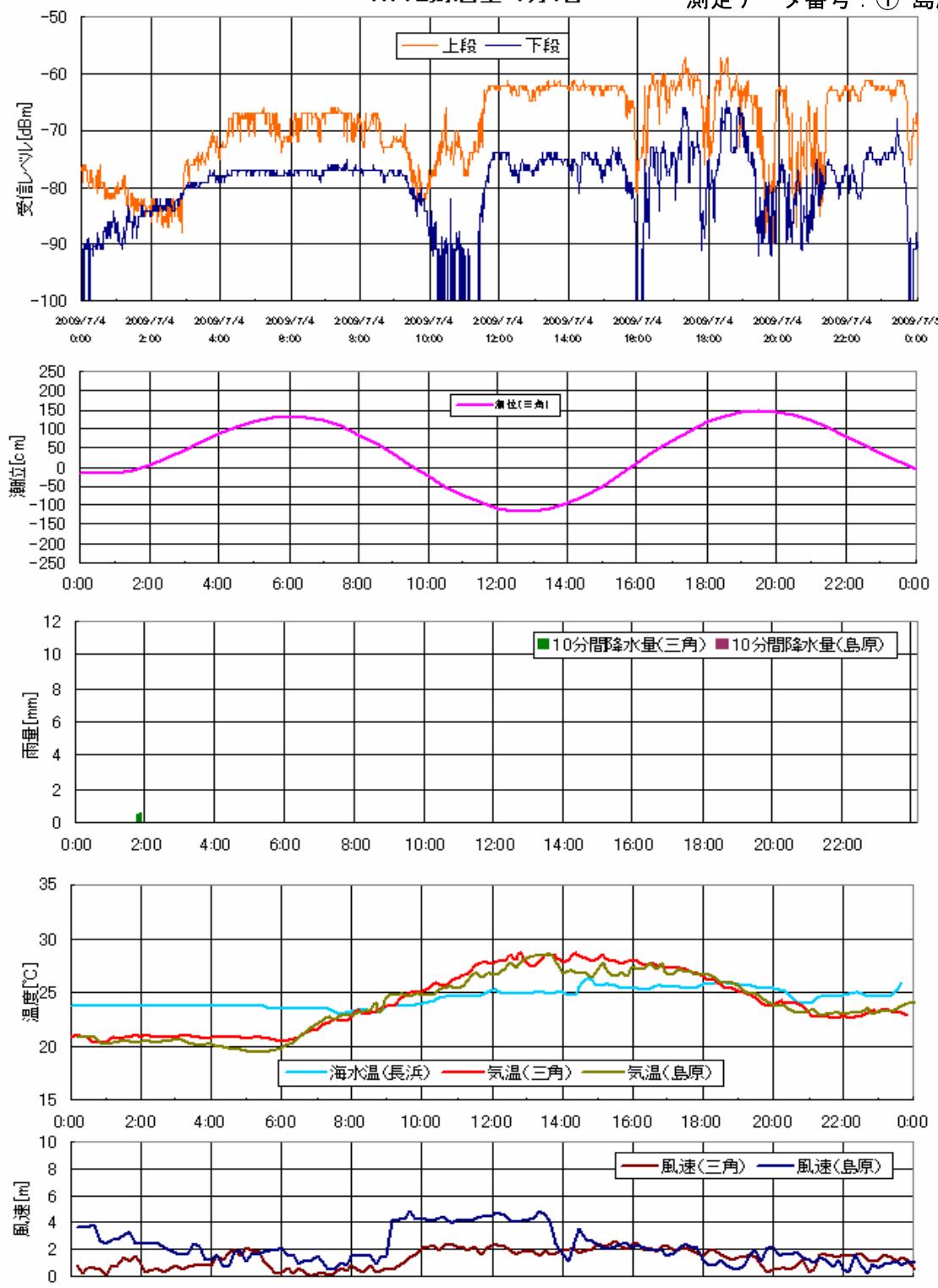
NTT島原白土 7月3日

測定データ番号：①-島原



NTT島原白土 7月4日

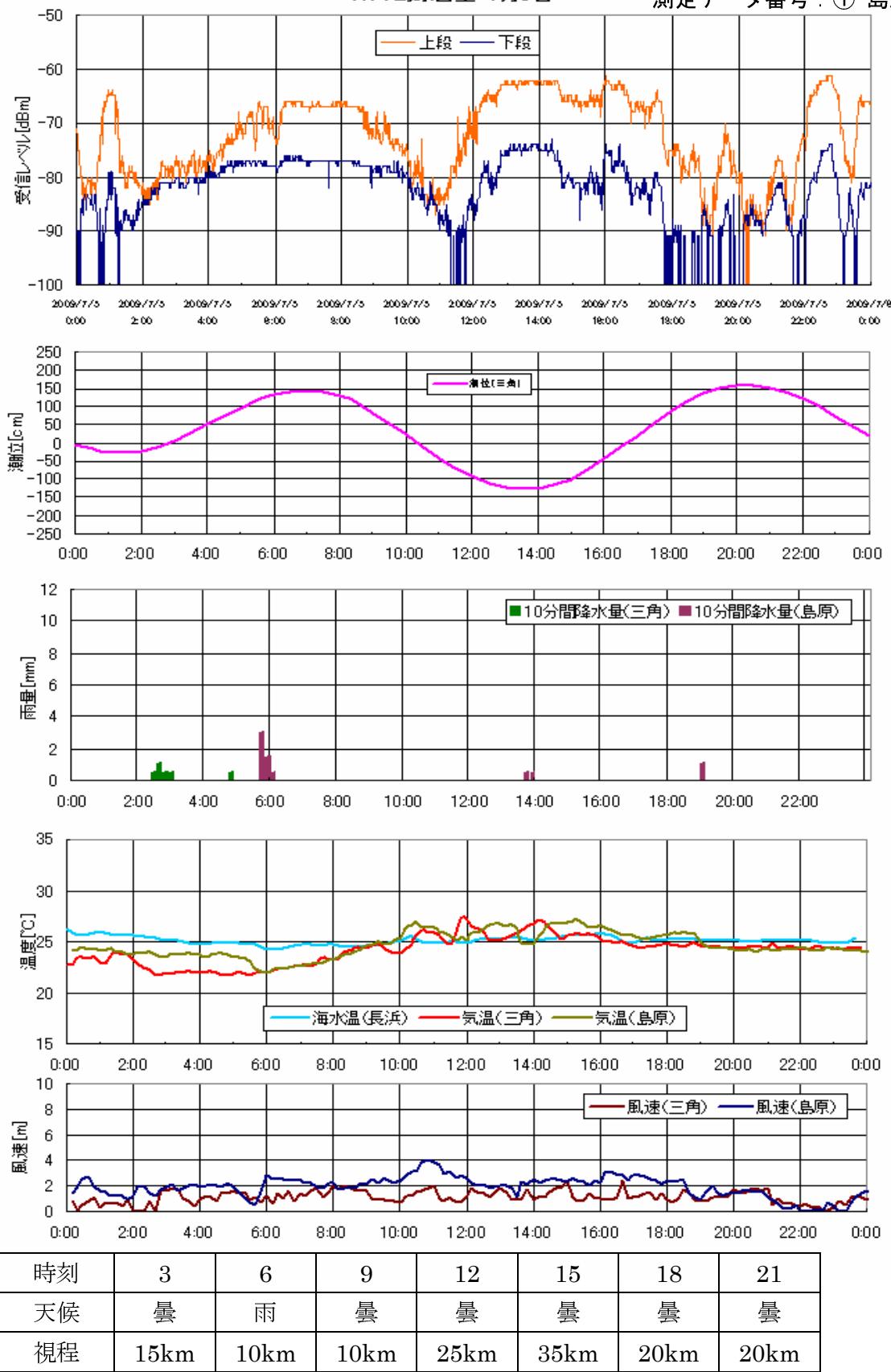
測定データ番号：①-島原



時刻	3	6	9	12	15	18	21
天候	曇	晴	晴	薄曇	晴	晴	晴
視程	8km	5km	15km	15km	15km	15km	15km

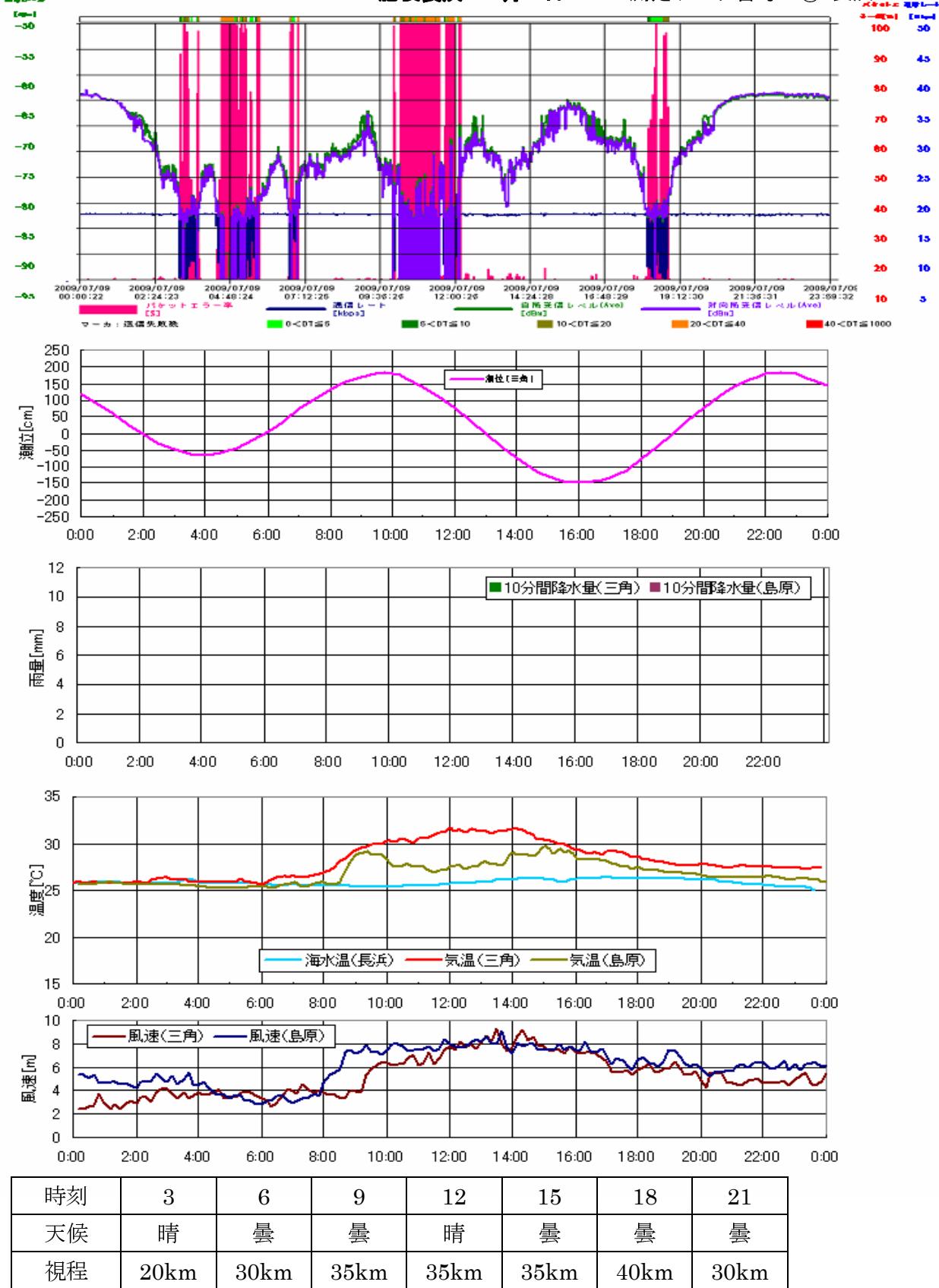
NTT島原白土 7月5日

測定データ番号：①-島原



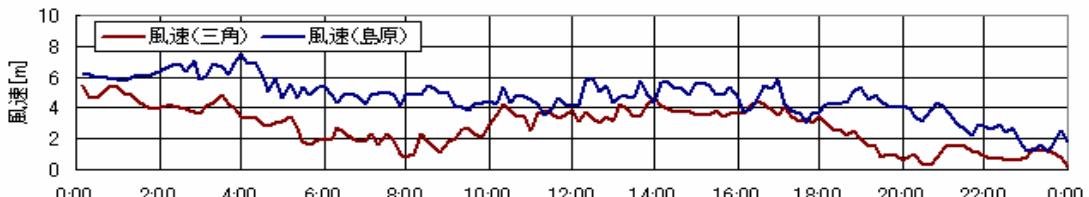
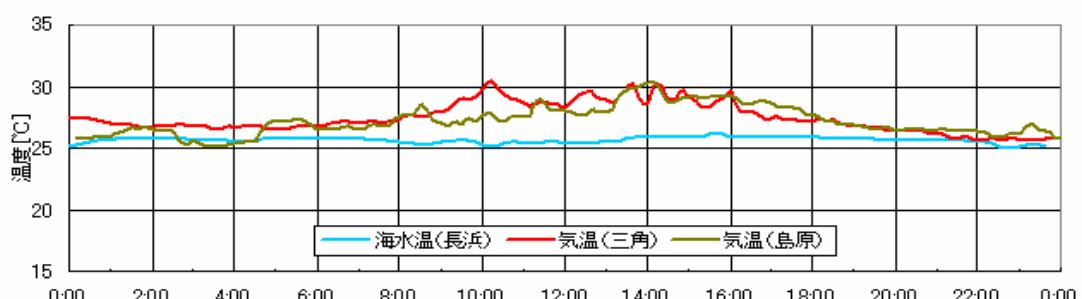
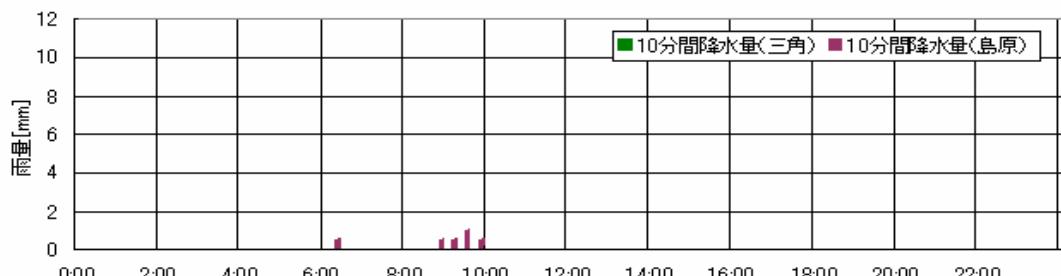
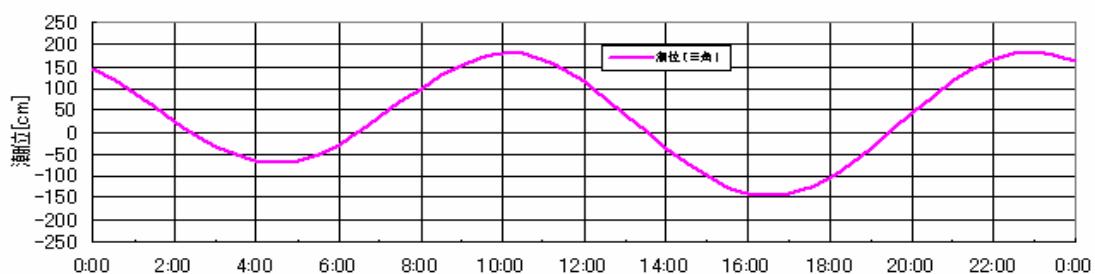
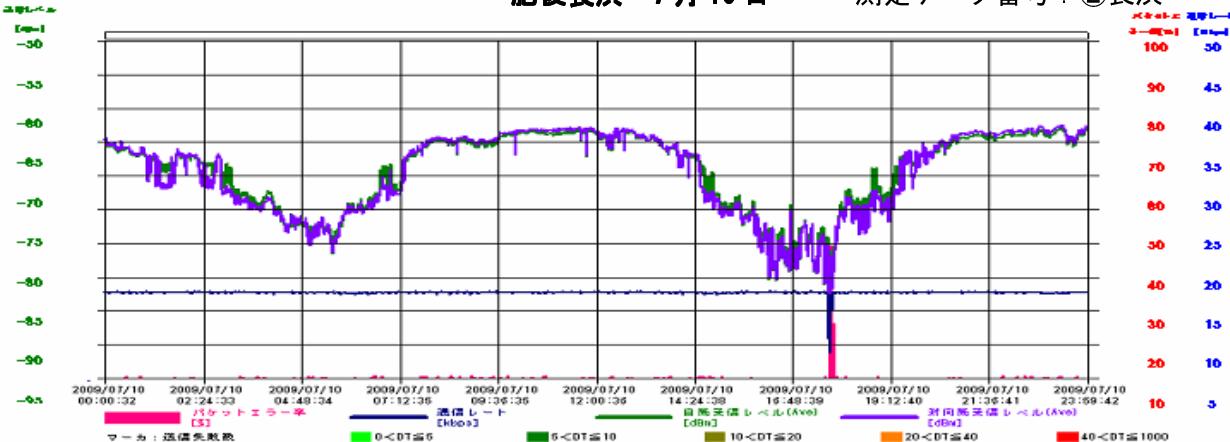
肥後長浜 7月9日

測定データ番号 : ②-長浜



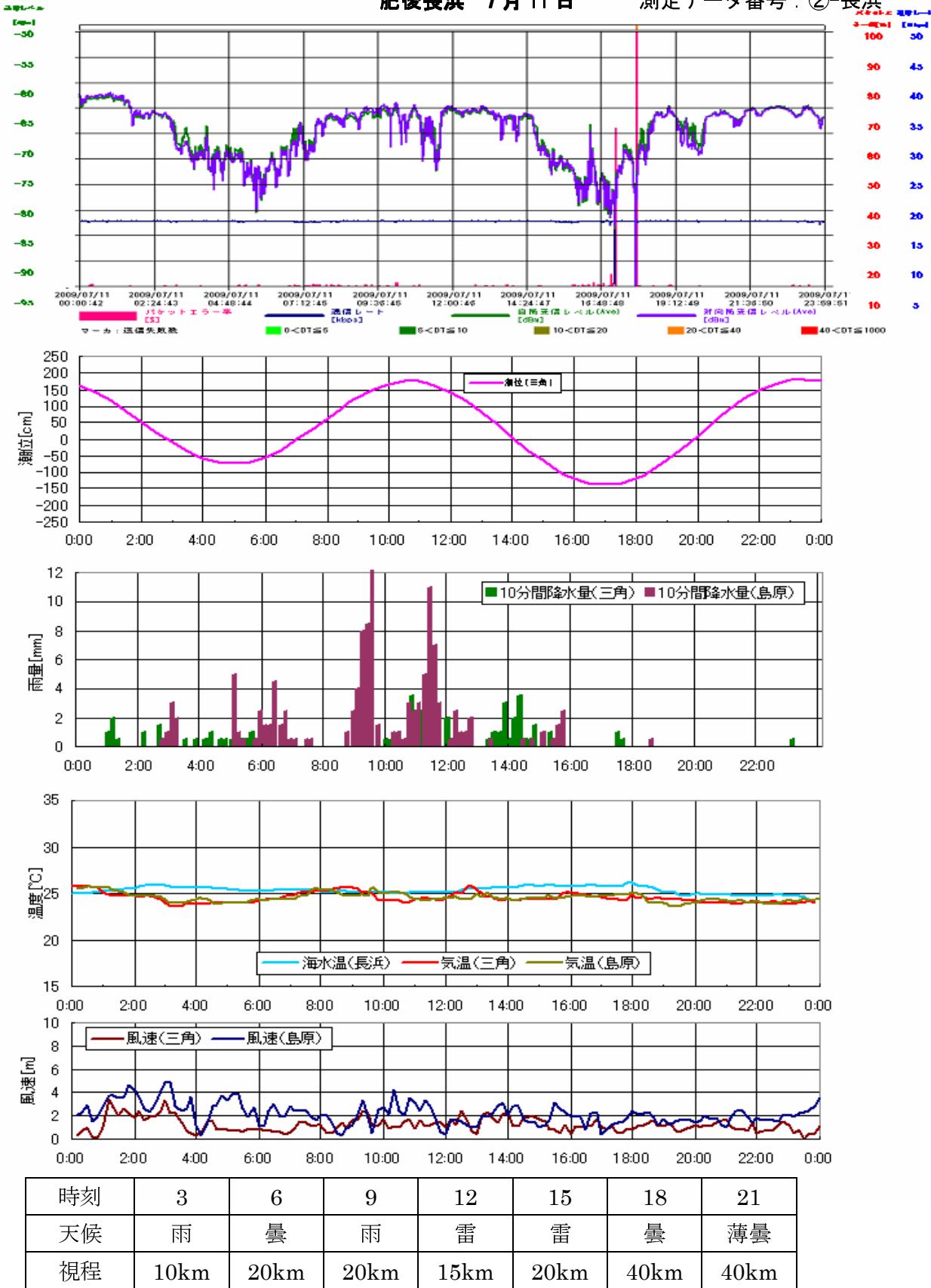
肥後長浜 7月10日

測定データ番号：②長浜

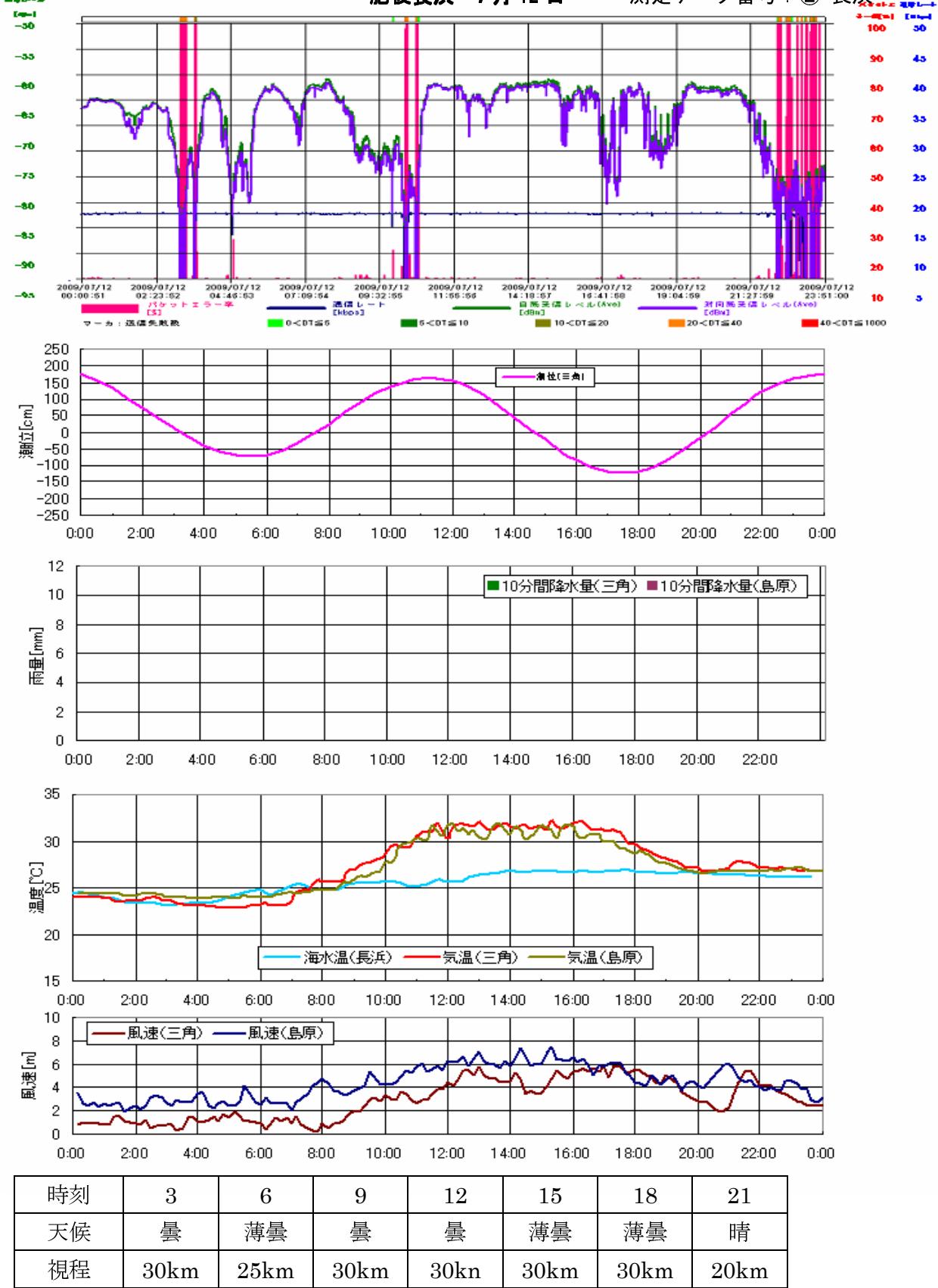


時刻	3	6	9	12	15	18	21
天候	曇	曇	曇	薄曇	曇	曇	曇
視程	20km	15km	15km	30km	30km	20km	20km

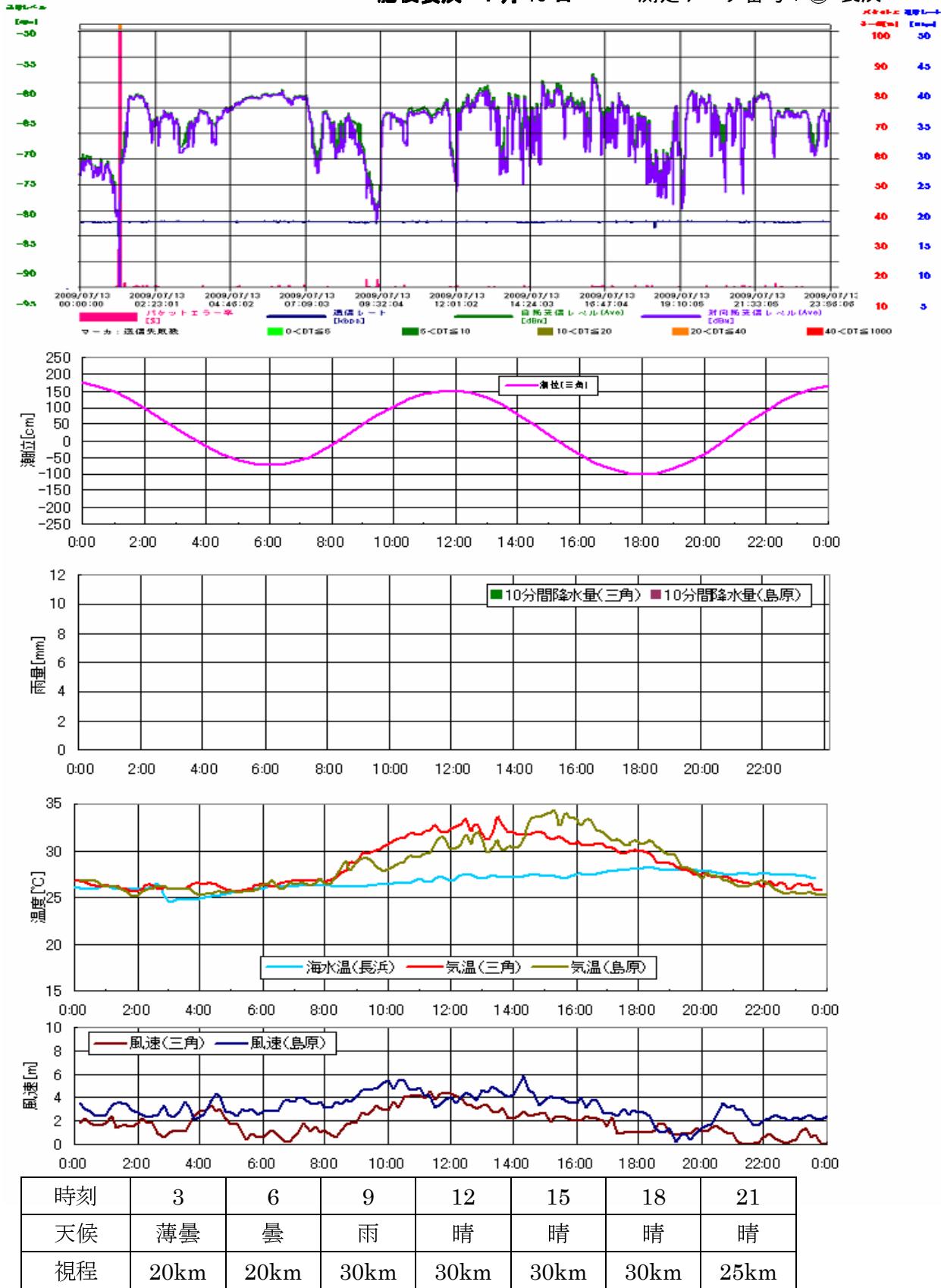
肥後長浜 7月11日 測定データ番号：②-長浜



肥後長浜 7月12日 測定データ番号：②-長浜

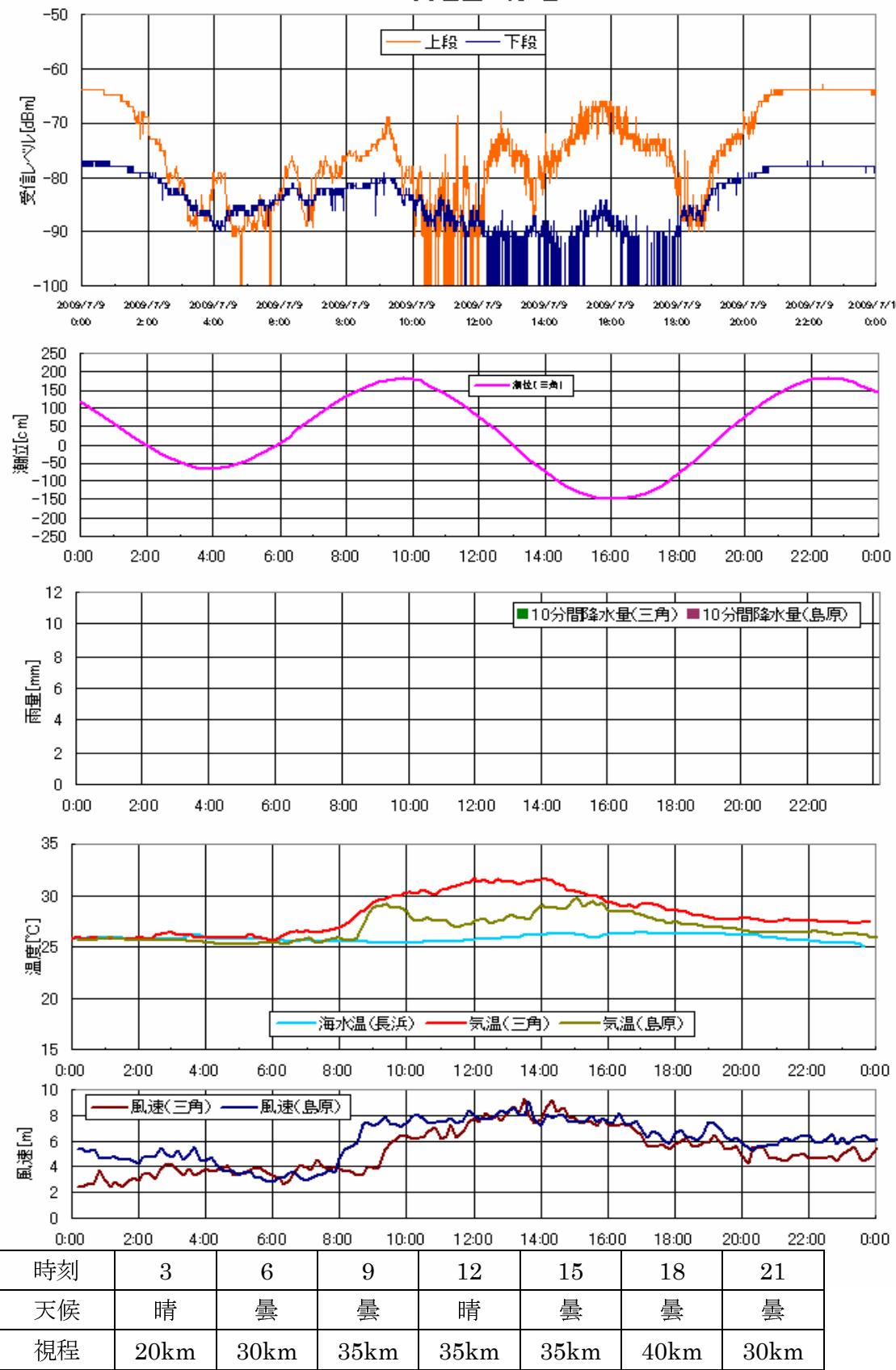


肥後長浜 7月13日 測定データ番号：②-長浜



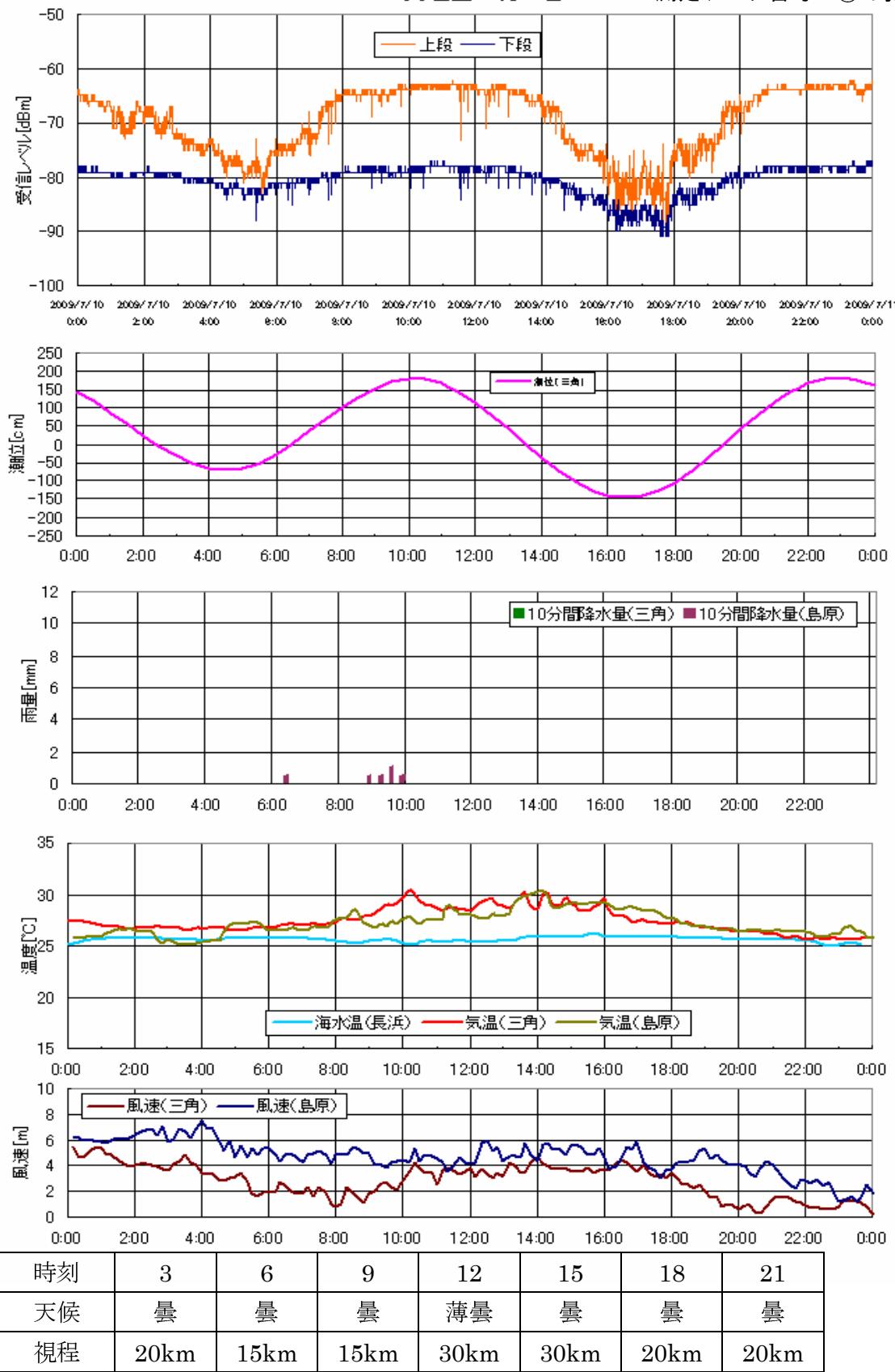
NTT島原白土 7月9日

測定データ番号：②-島原



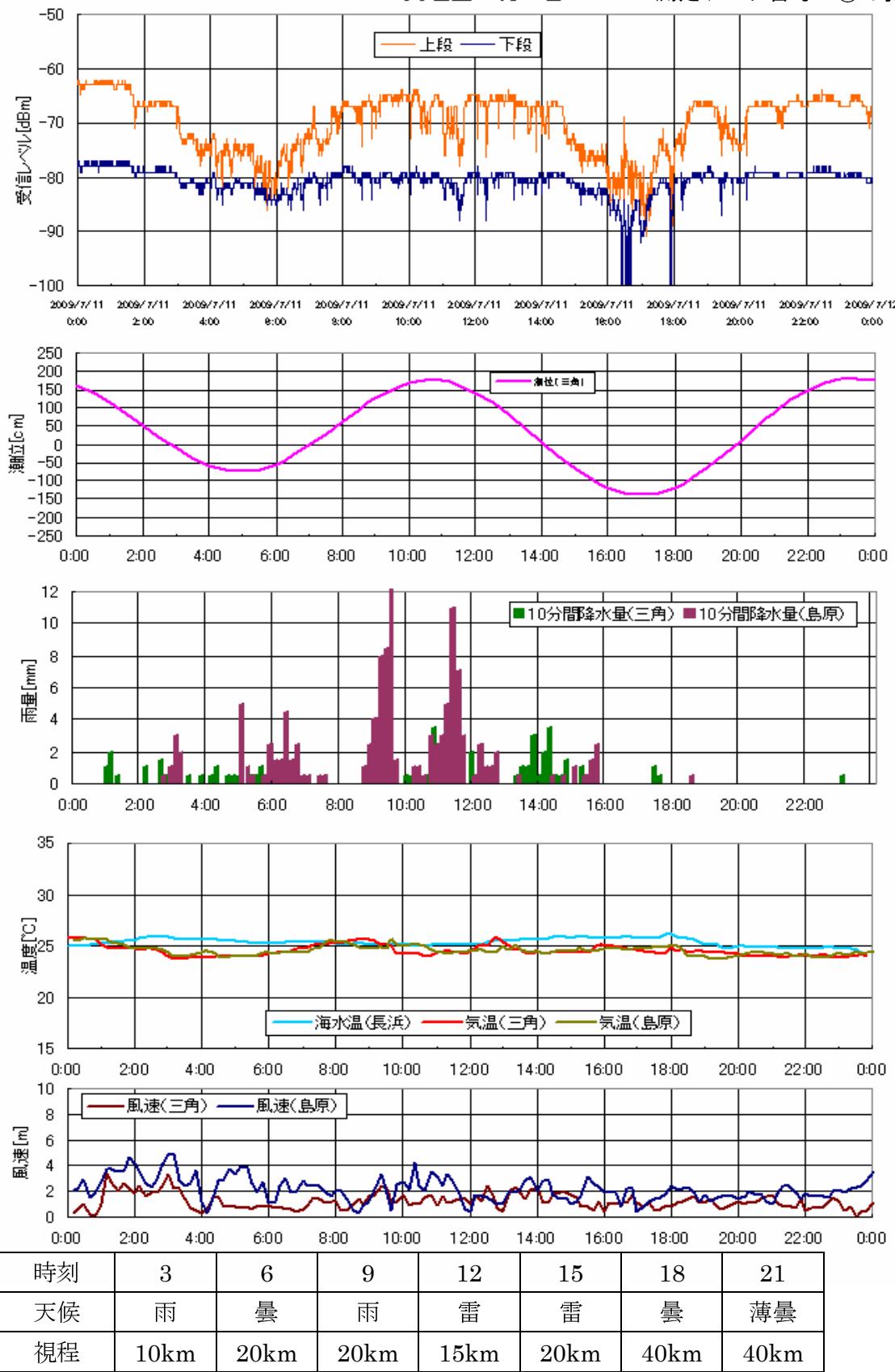
NTT島原白土 7月10日

測定データ番号：②-島原



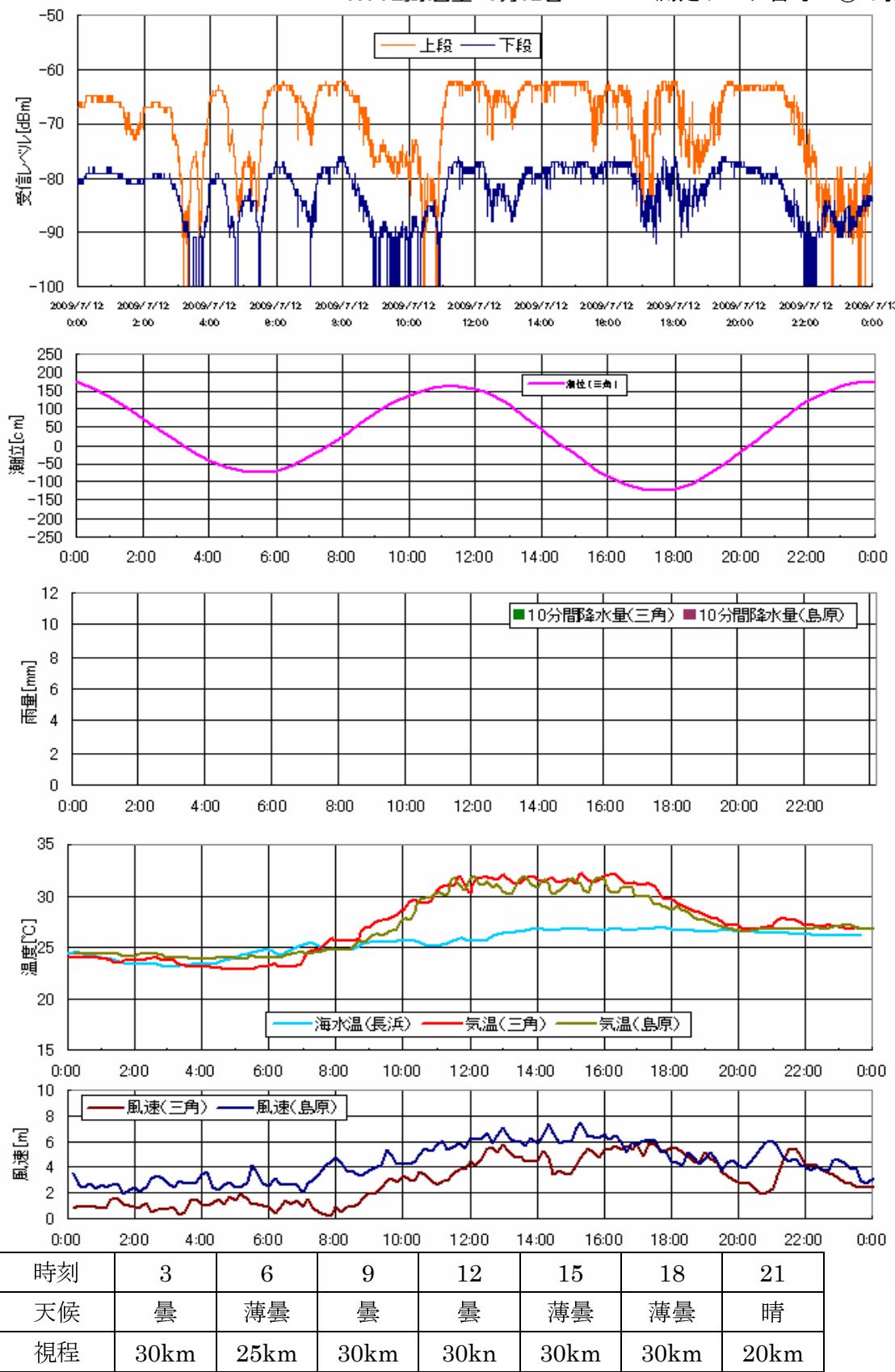
NTT島原白土 7月11日

測定データ番号：②-島原



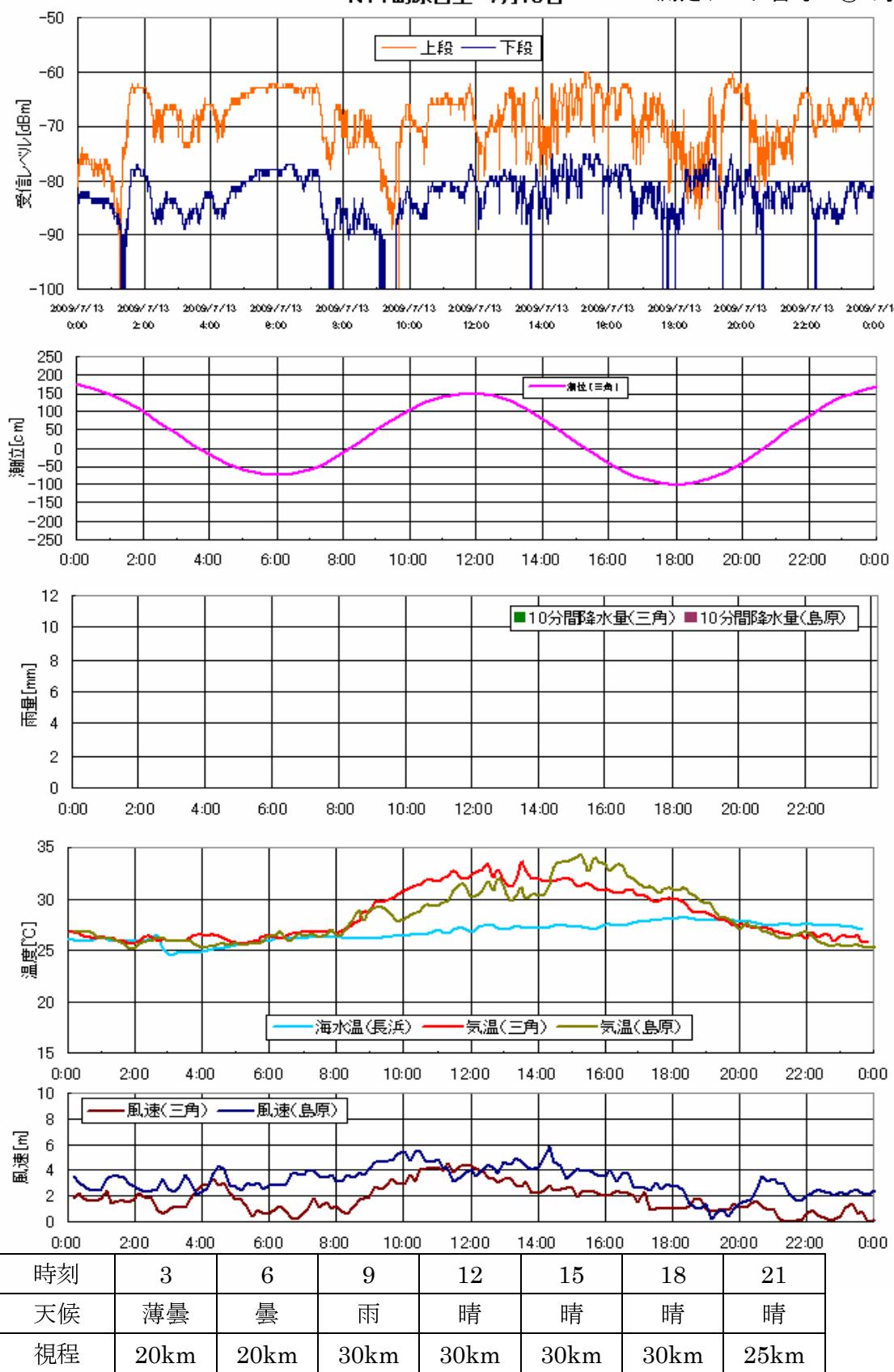
NTT島原白土 7月12日

測定データ番号：②-島原

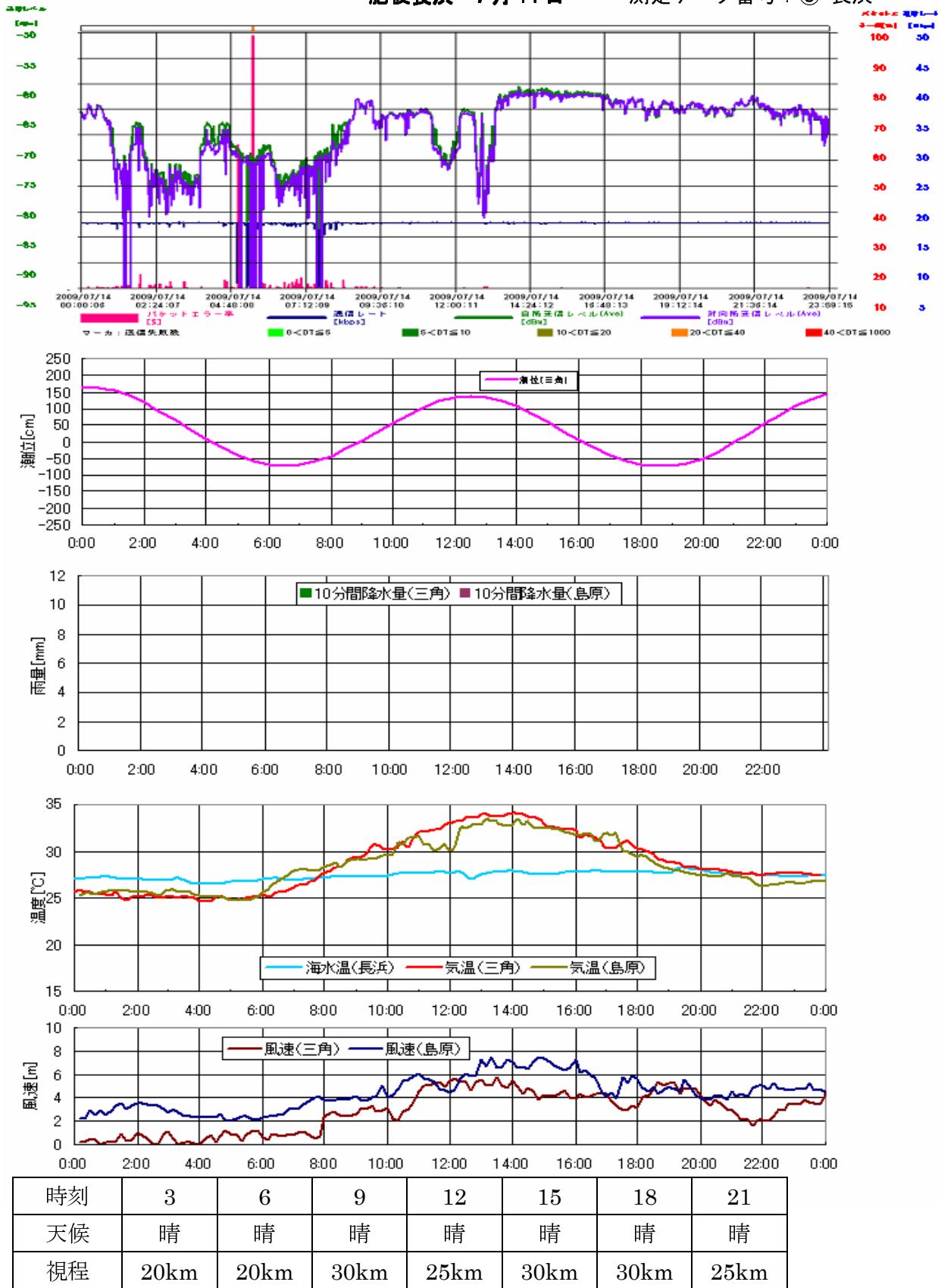


NTT島原白土 7月13日

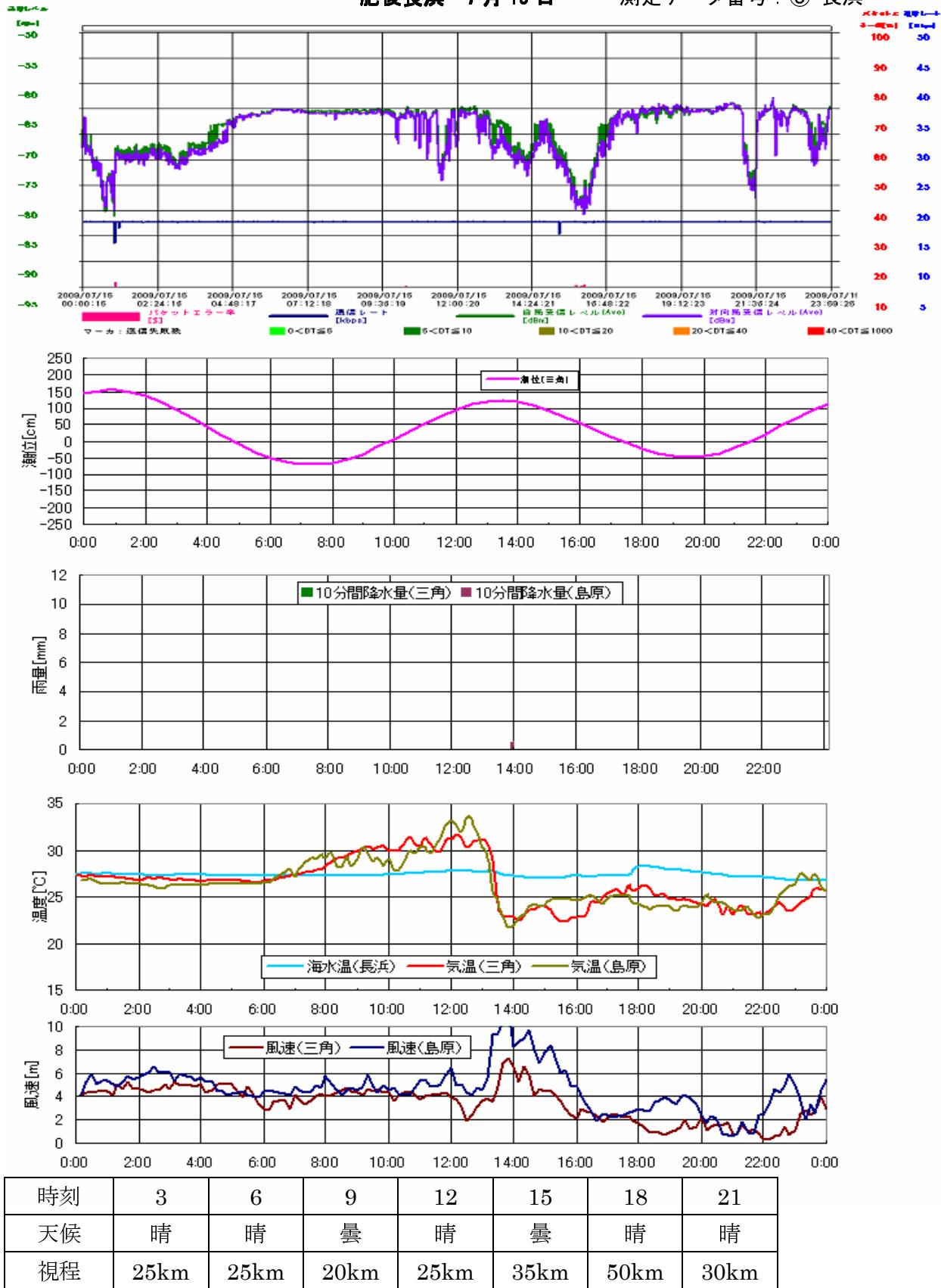
測定データ番号：②-島原



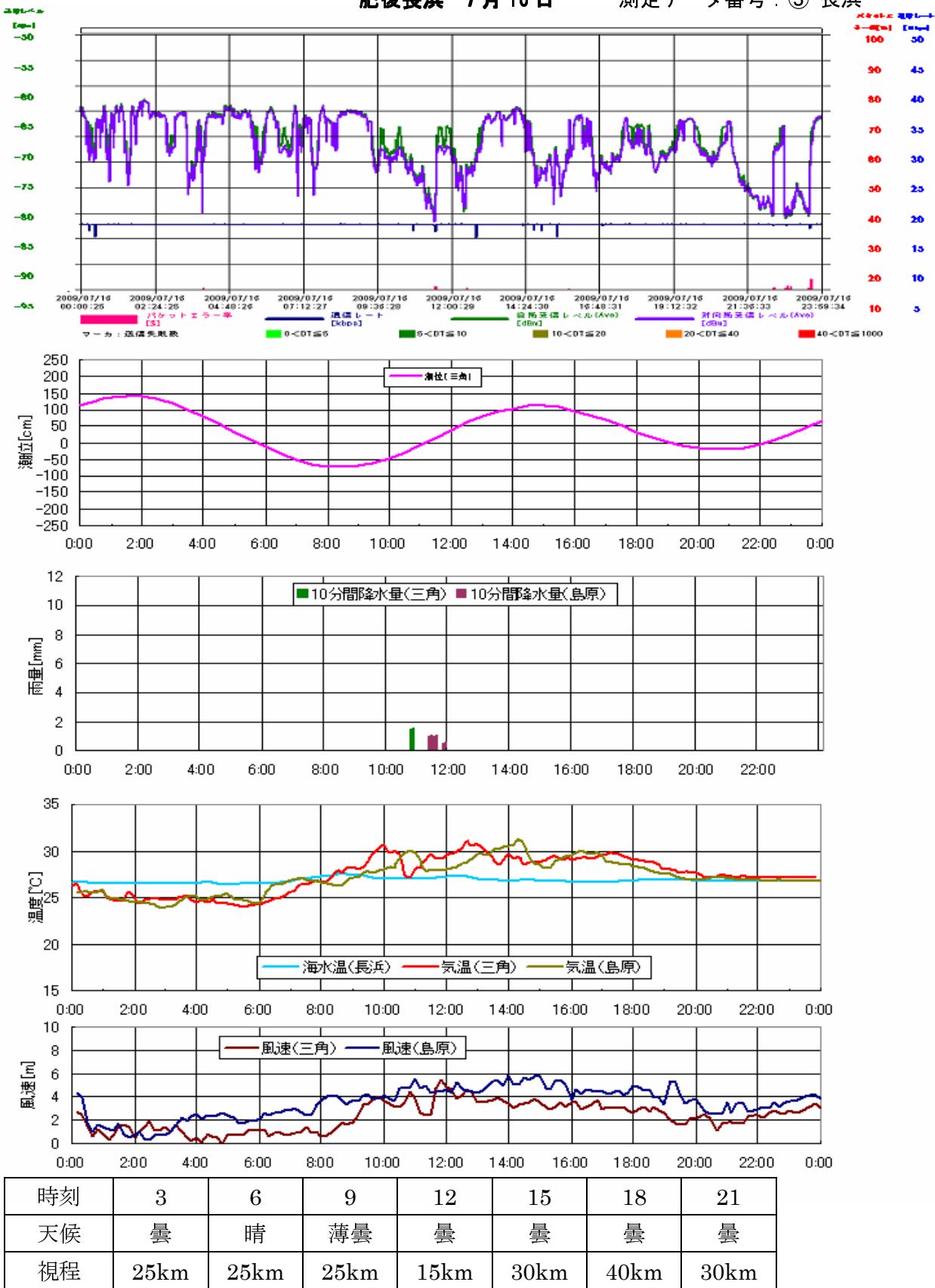
肥後長浜 7月14日 測定データ番号：③-長浜



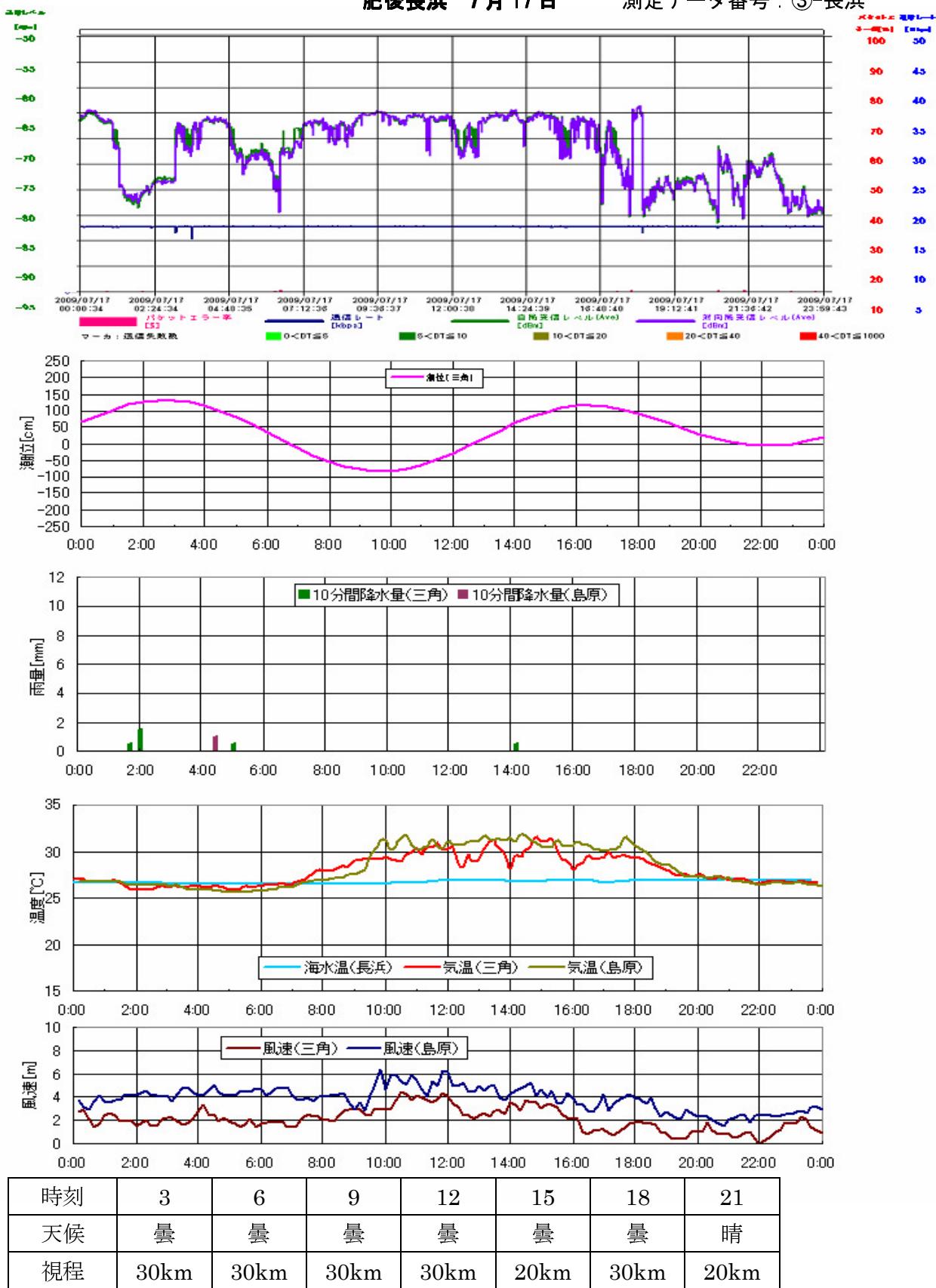
肥後長浜 7月15日 測定データ番号：③-長浜



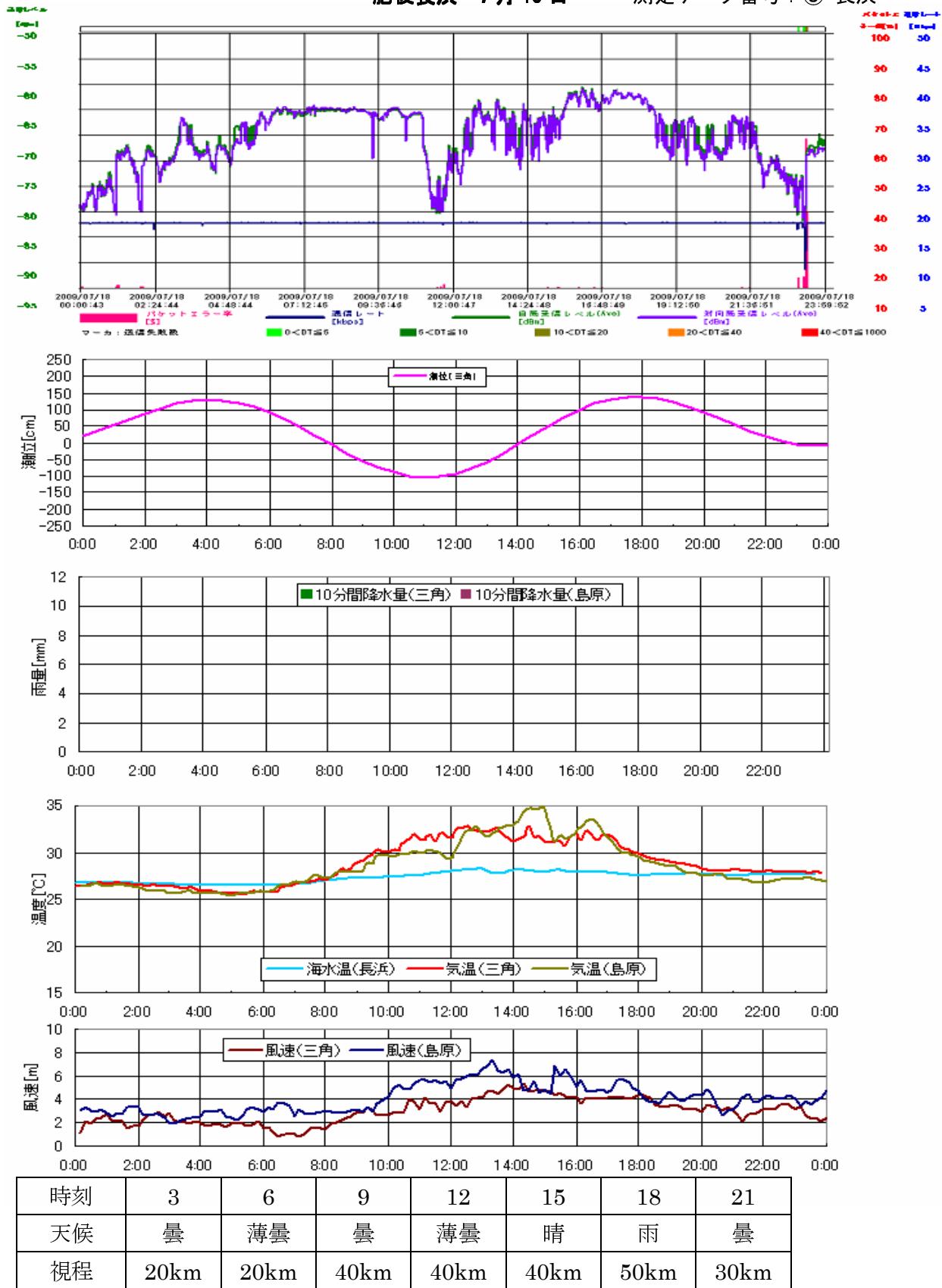
肥後長浜 7月16日 測定データ番号：③-長浜



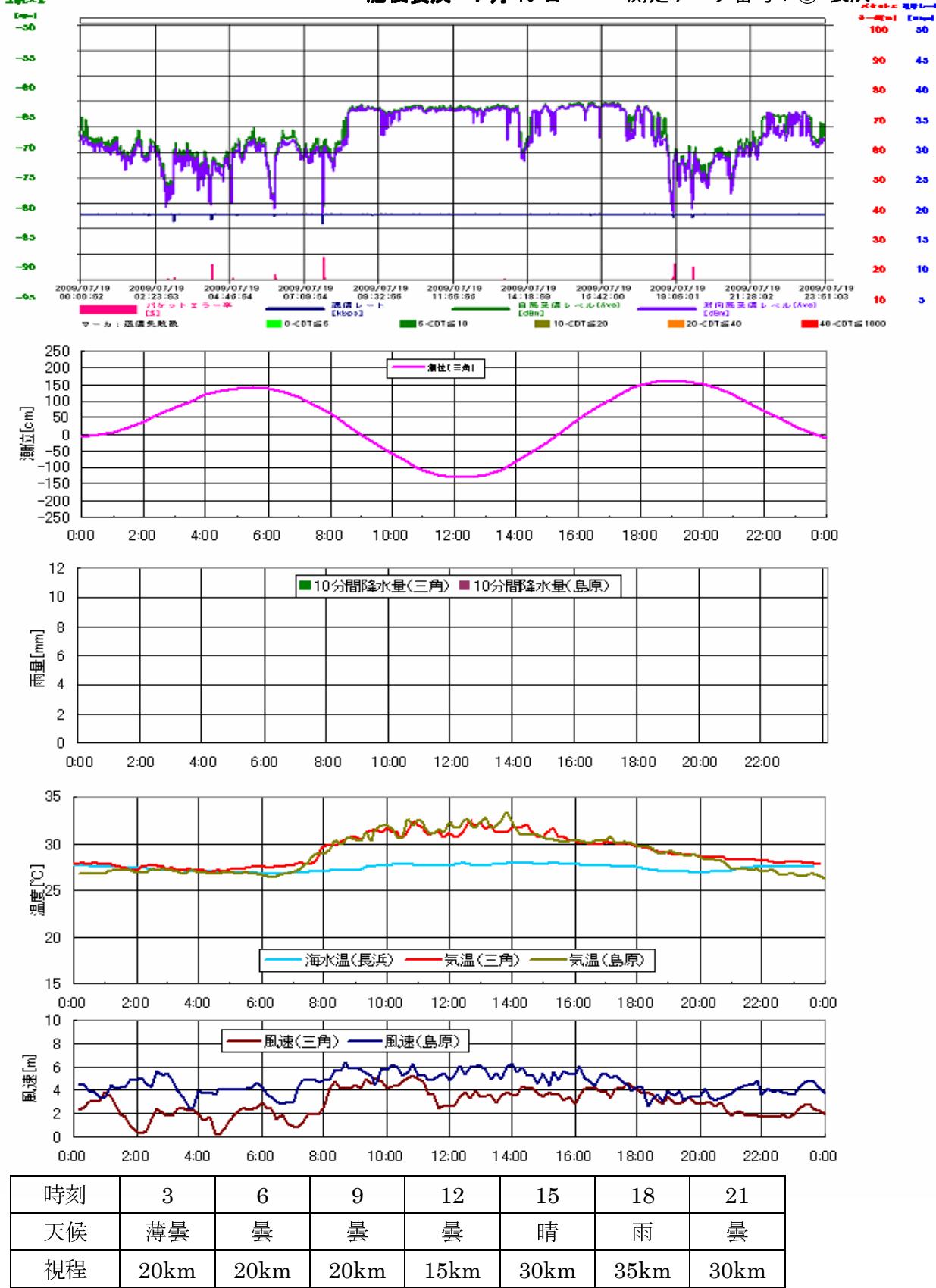
肥後長浜 7月17日 測定データ番号：③-長浜



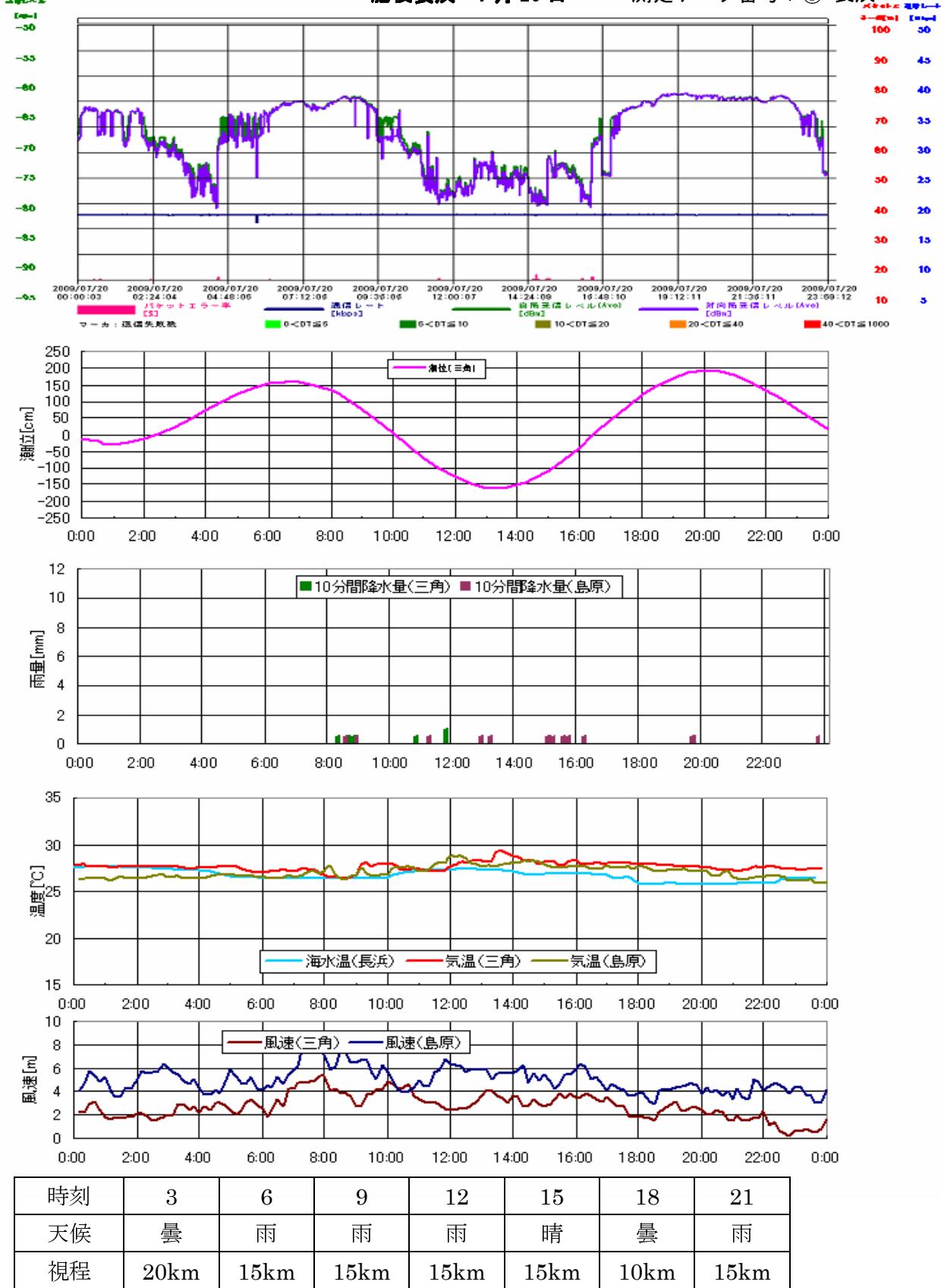
肥後長浜 7月18日 測定データ番号：③-長浜



肥後長浜 7月19日 測定データ番号：③-長浜

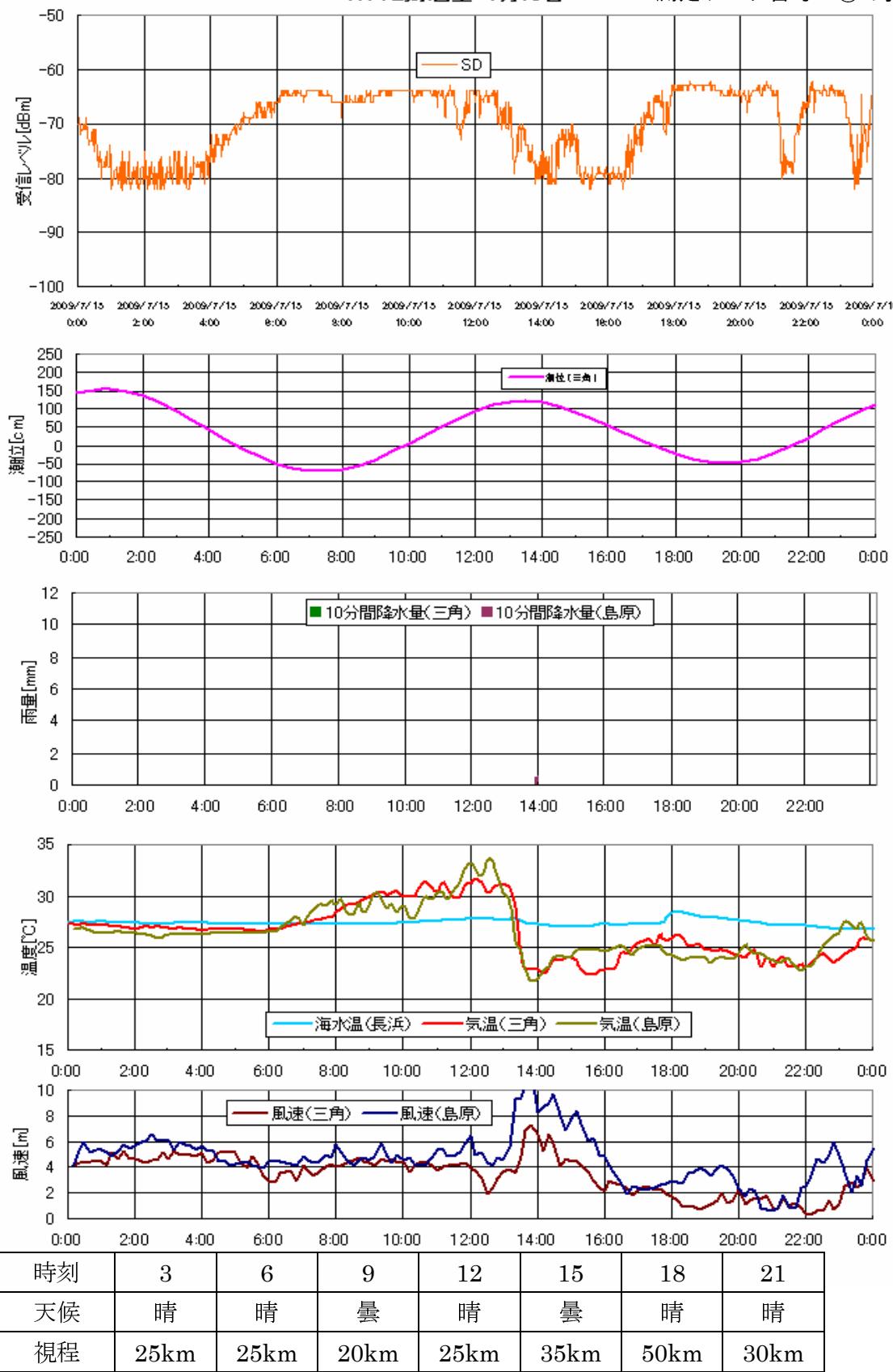


肥後長浜 7月20日 測定データ番号：③-長浜



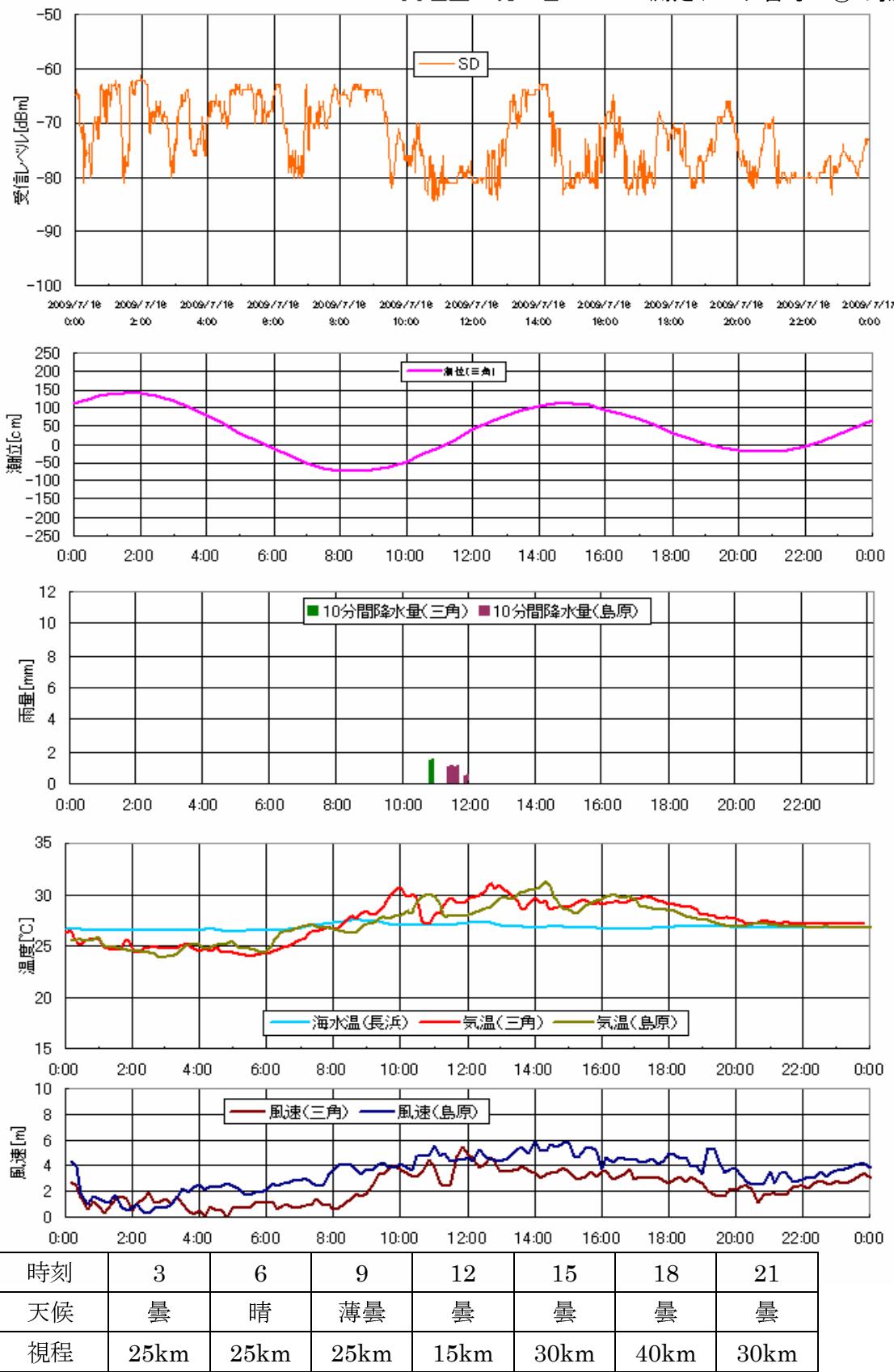
NTT島原白土 7月15日

測定データ番号：③-島原



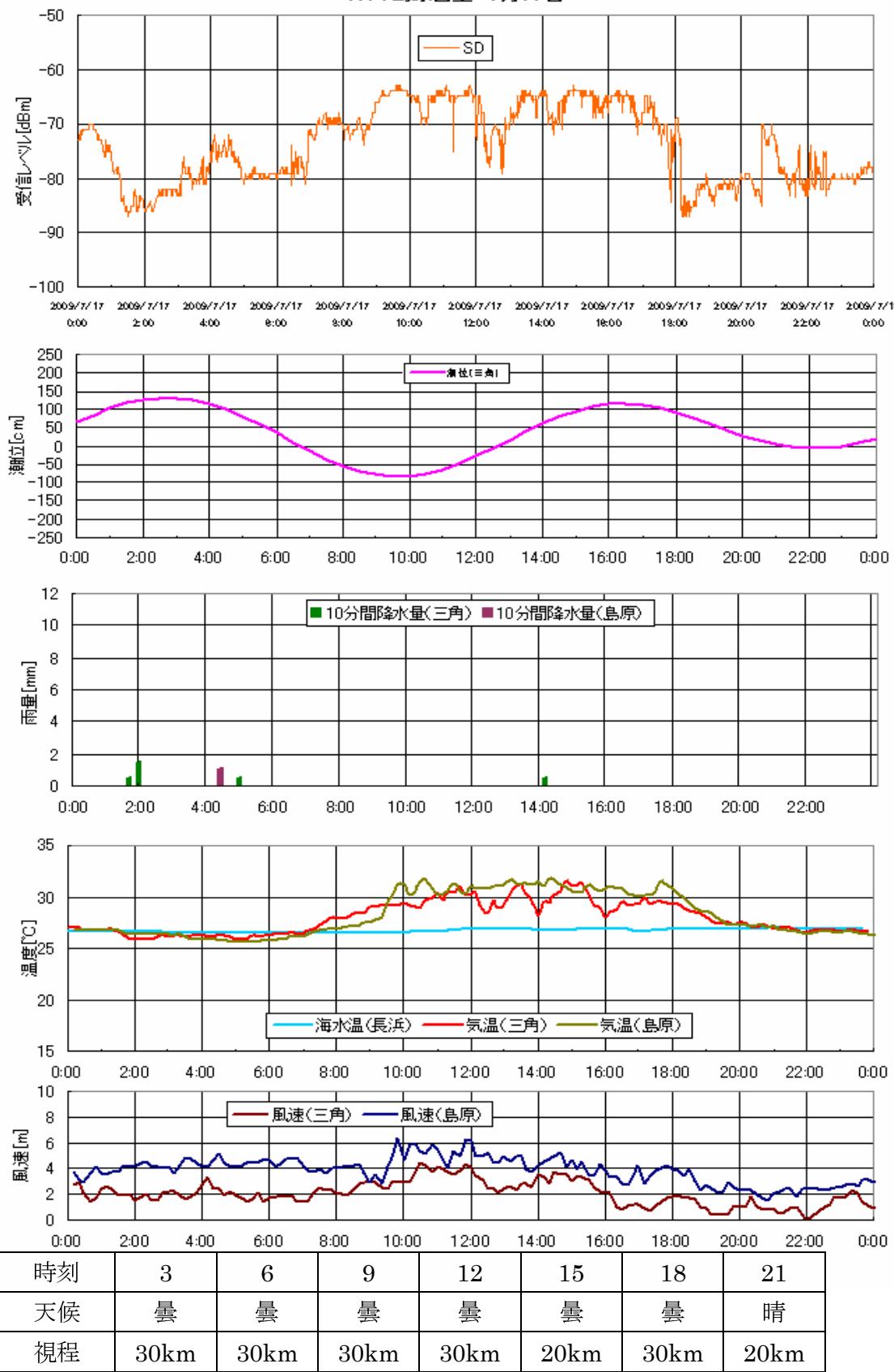
NTT島原白土 7月16日

測定データ番号：③-島原



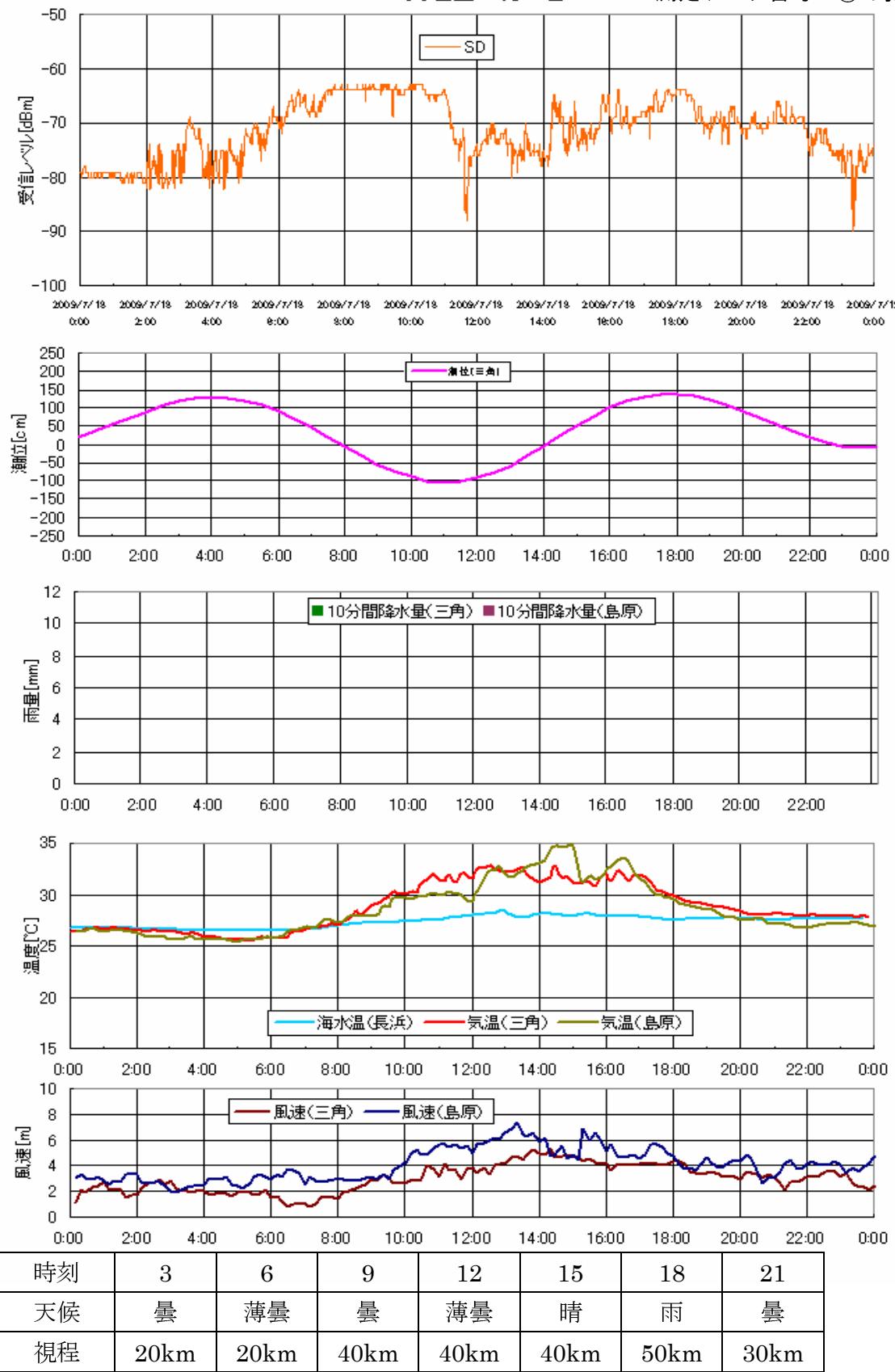
NTT島原白土 7月17日

測定データ番号：③-島原



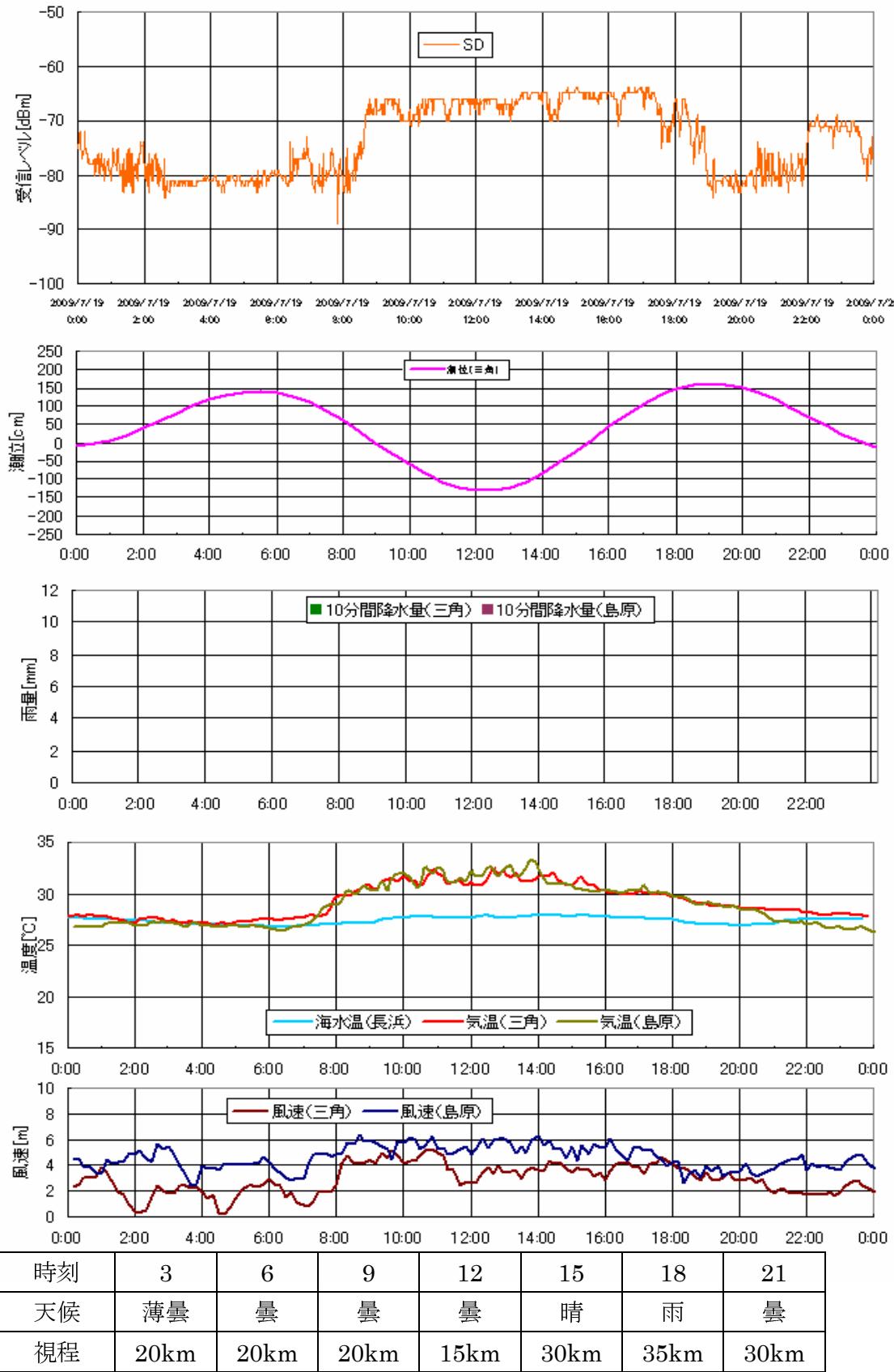
NTT島原白土 7月18日

測定データ番号：③-島原



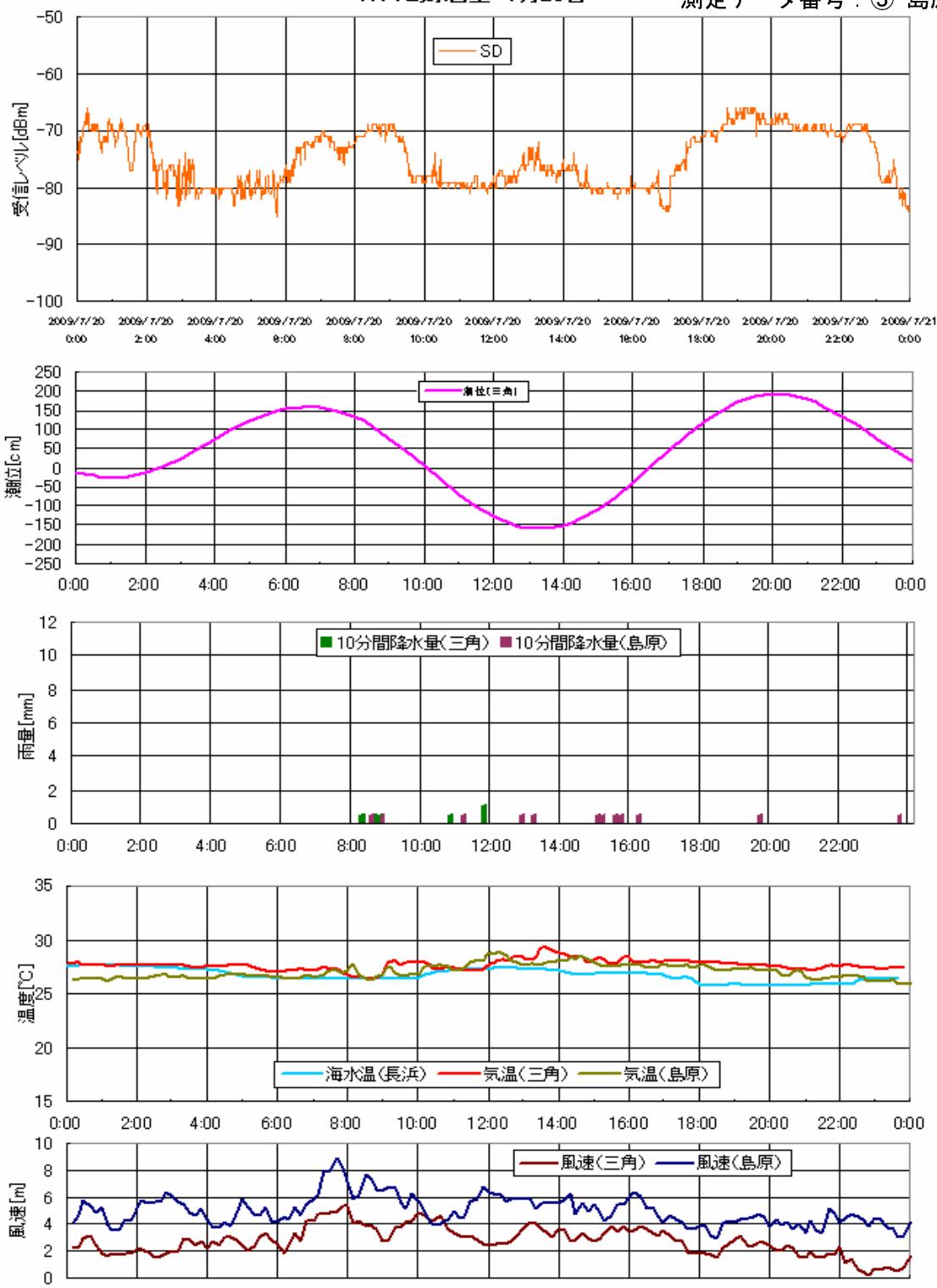
NTT島原白土 7月19日

測定データ番号：③-島原



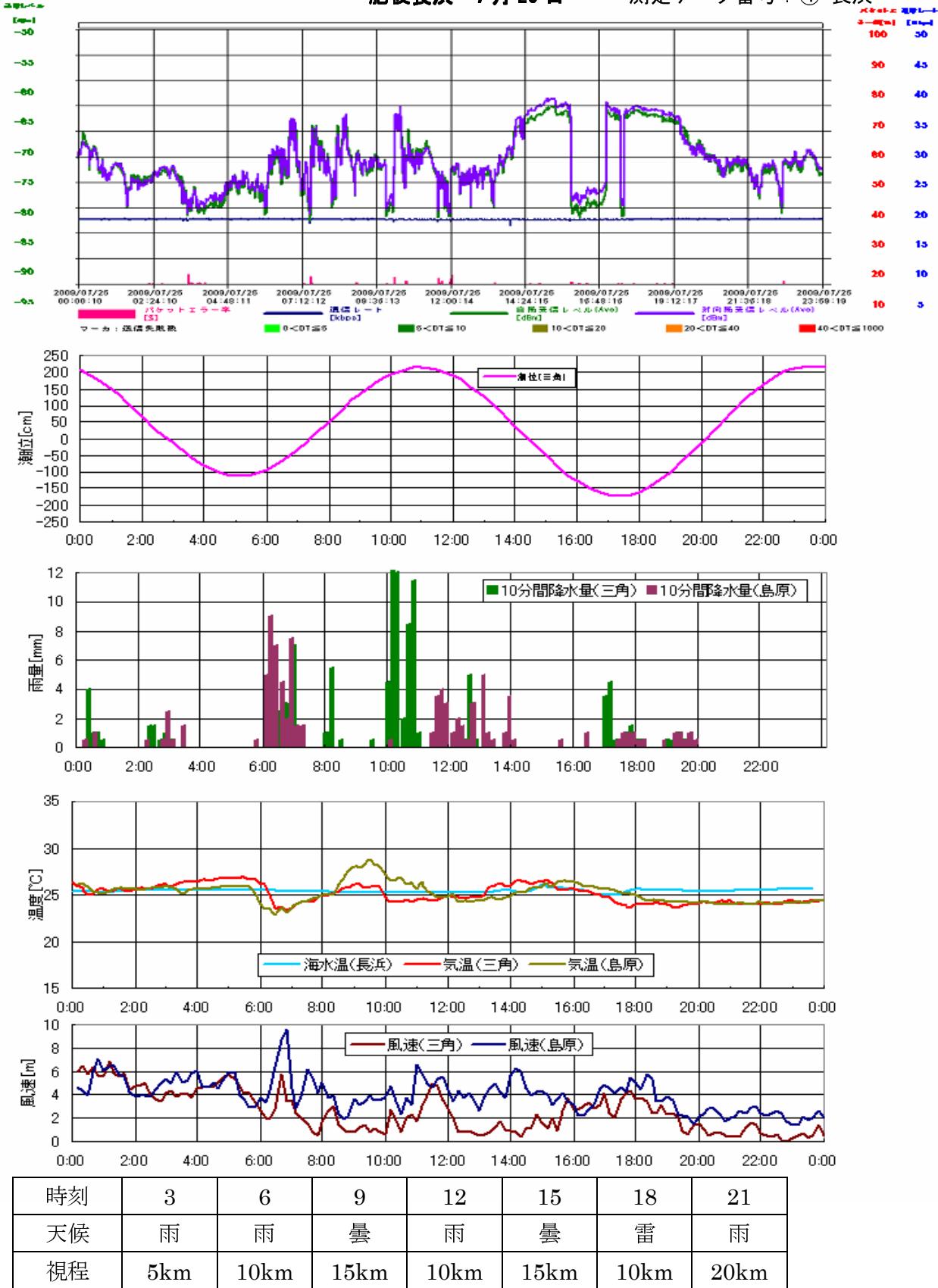
NTT島原白土 7月20日

測定データ番号：③-島原

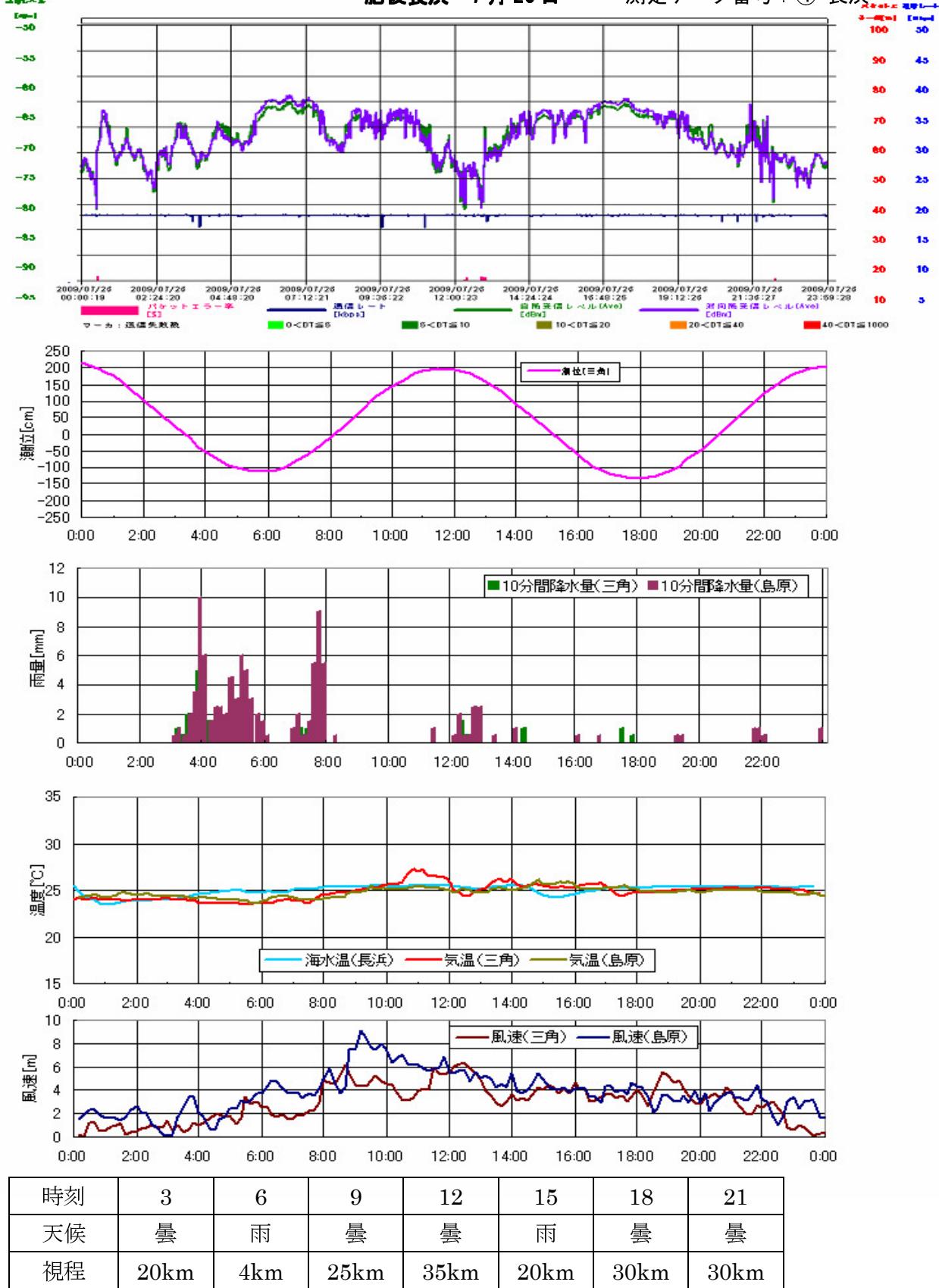


時刻	3	6	9	12	15	18	21
天候	曇	雨	雨	雨	晴	曇	雨
視程	20km	15km	15km	15km	15km	10km	15km

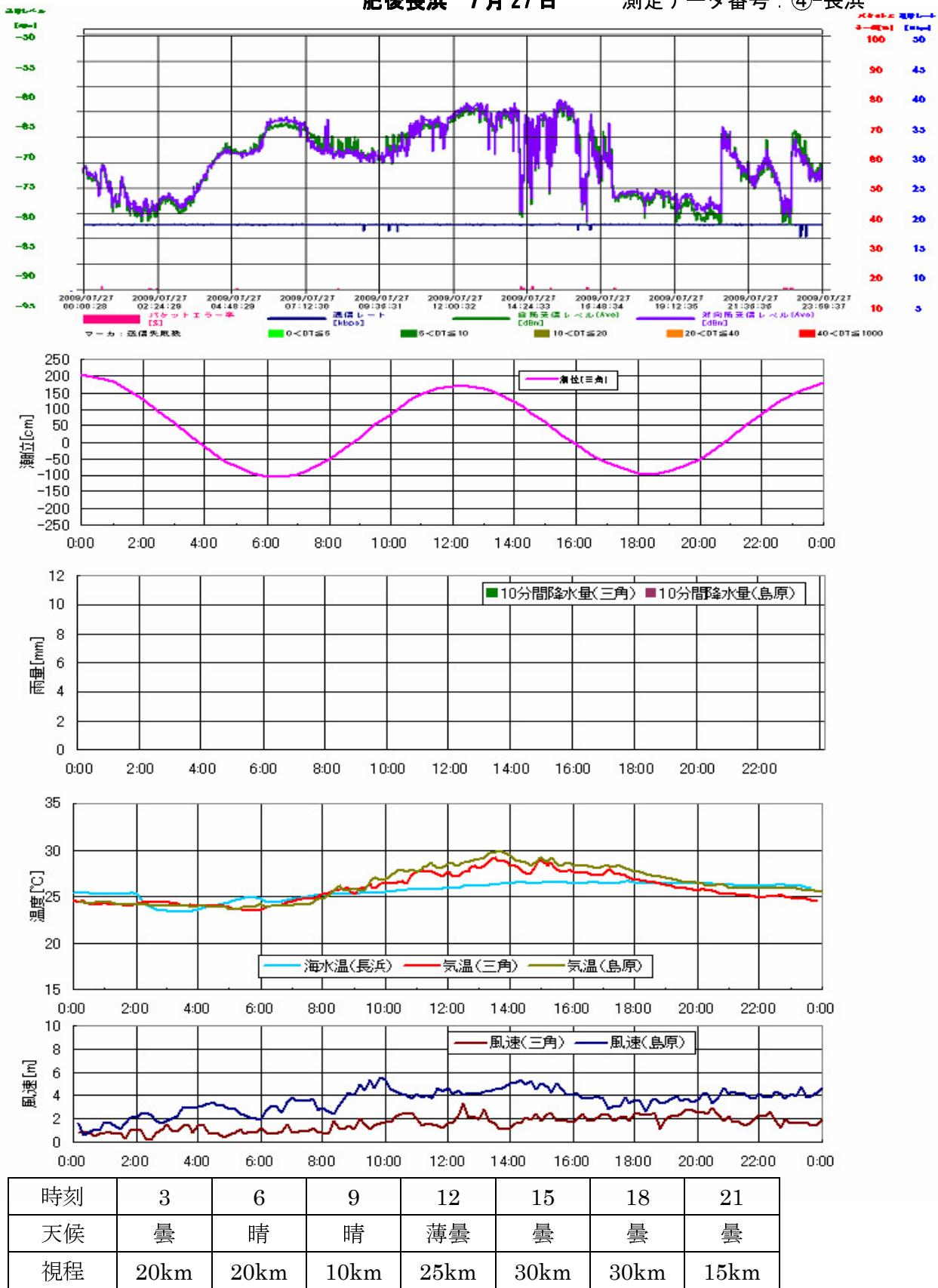
肥後長浜 7月25日 測定データ番号：④-長浜



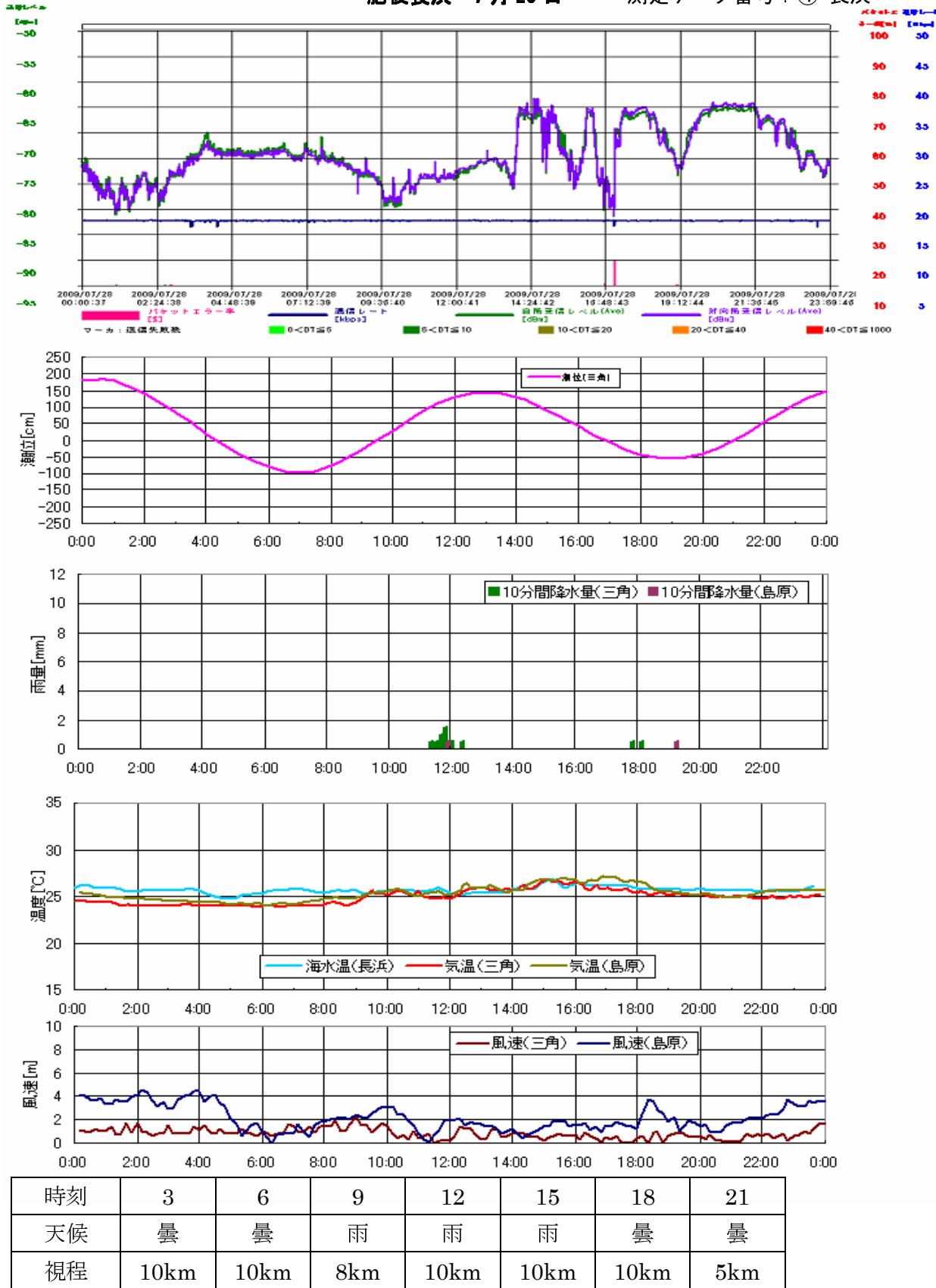
肥後長浜 7月26日 測定データ番号：④-長浜



肥後長浜 7月27日 測定データ番号：④-長浜

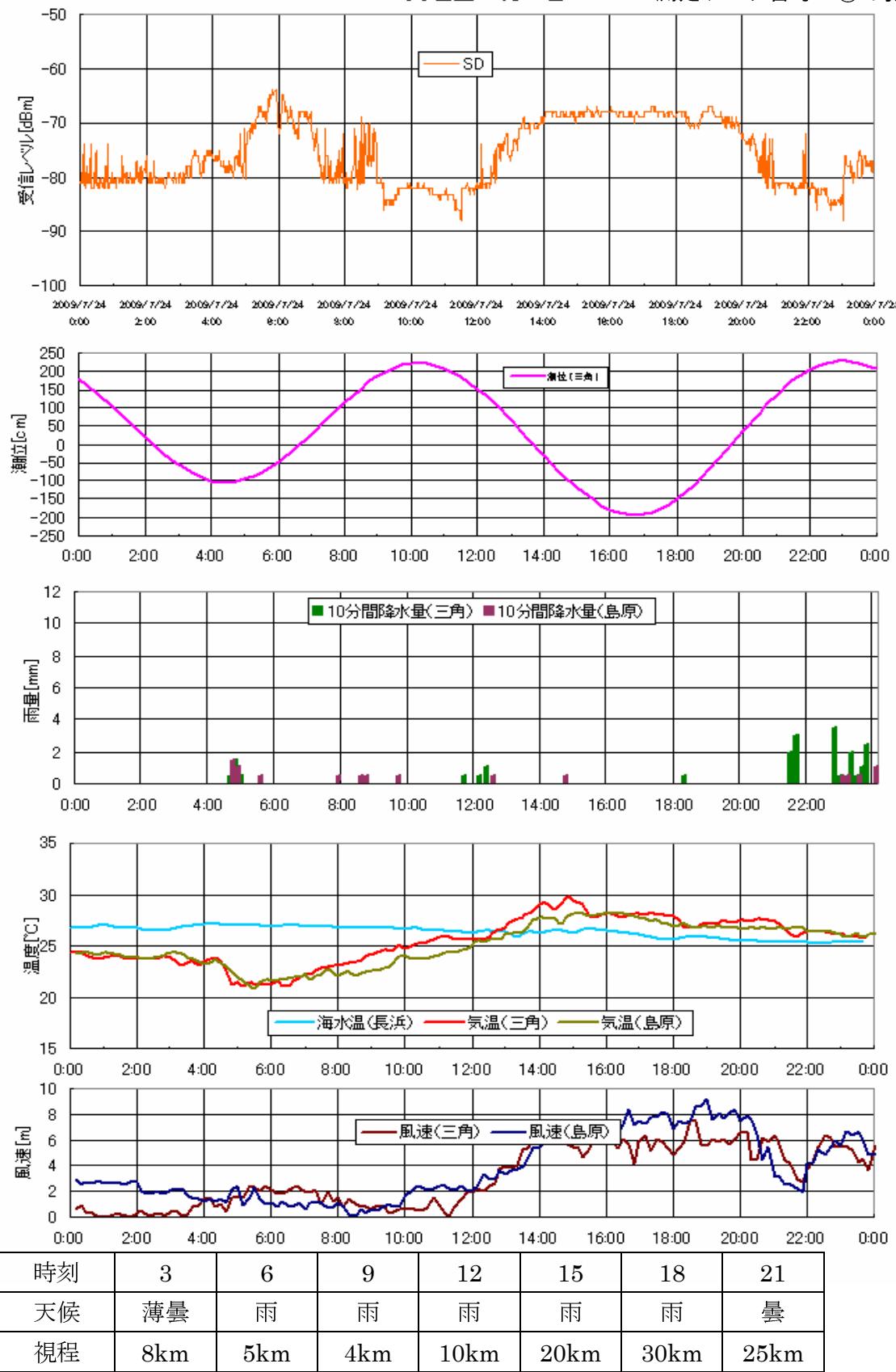


肥後長浜 7月28日 測定データ番号：④-長浜



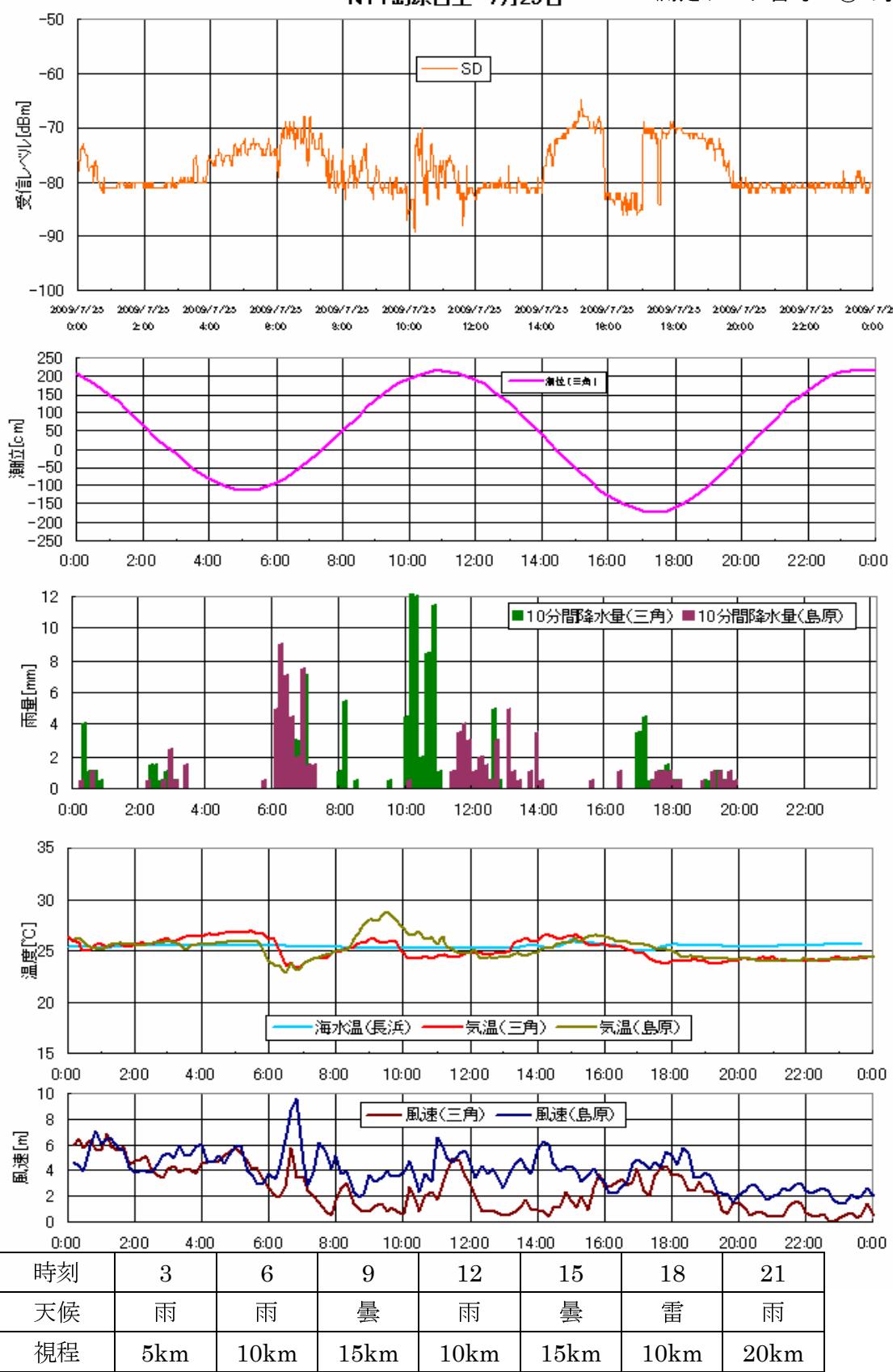
NTT島原白土 7月24日

測定データ番号：④-島原



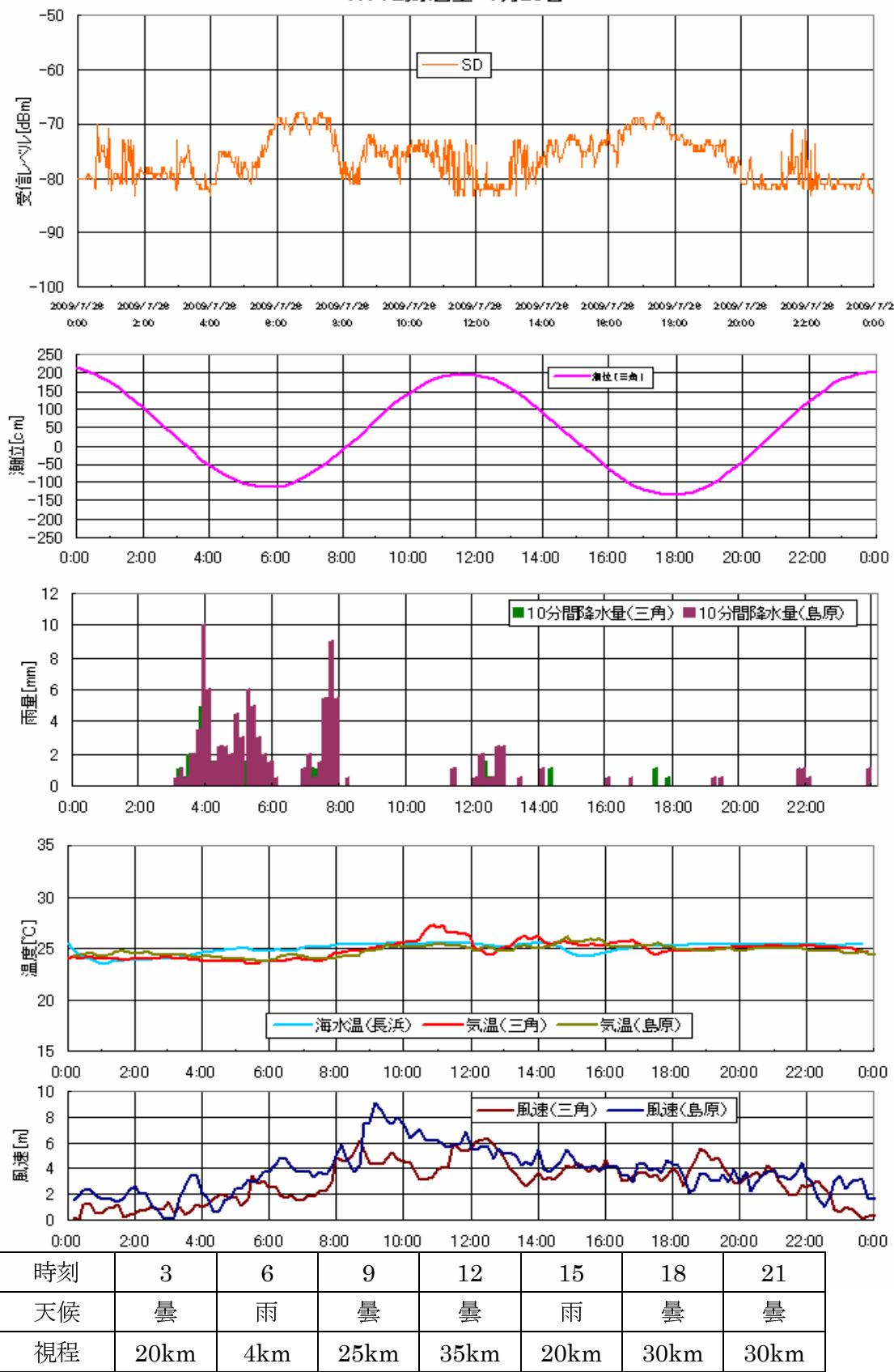
NTT島原白土 7月25日

測定データ番号：④-島原



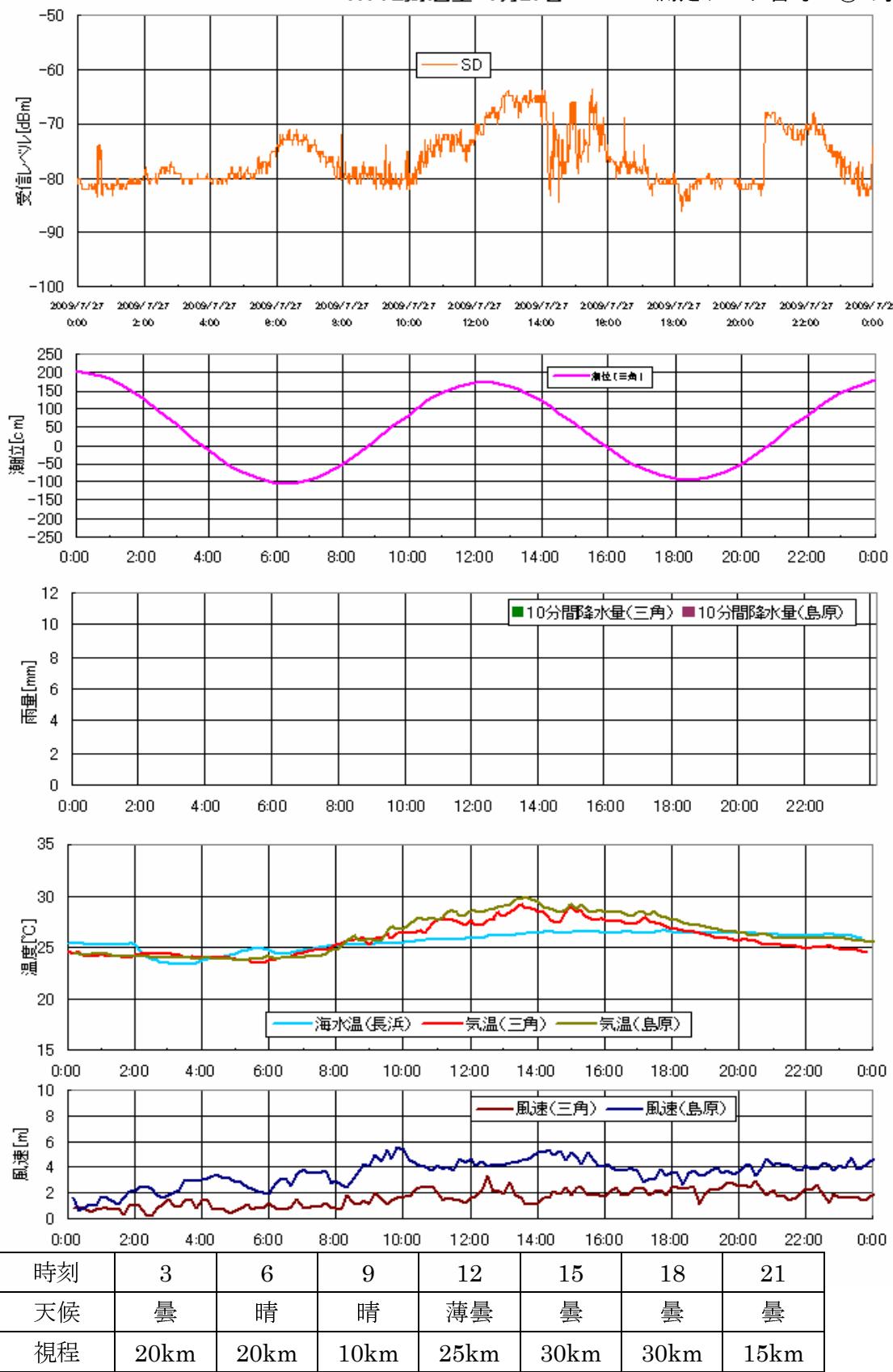
NTT島原白土 7月26日

測定データ番号：④-島原



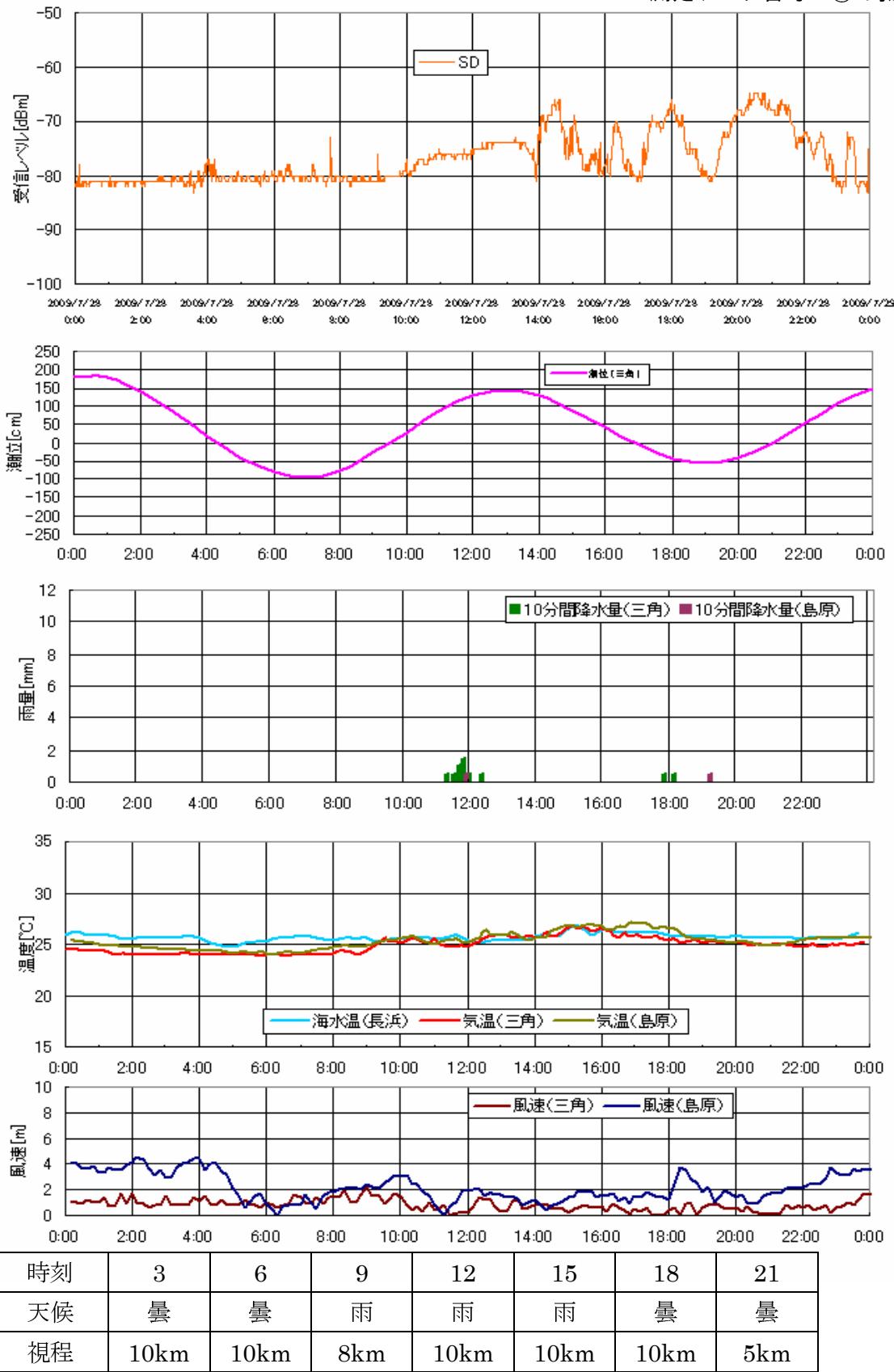
NTT島原白土 7月27日

測定データ番号：④-島原



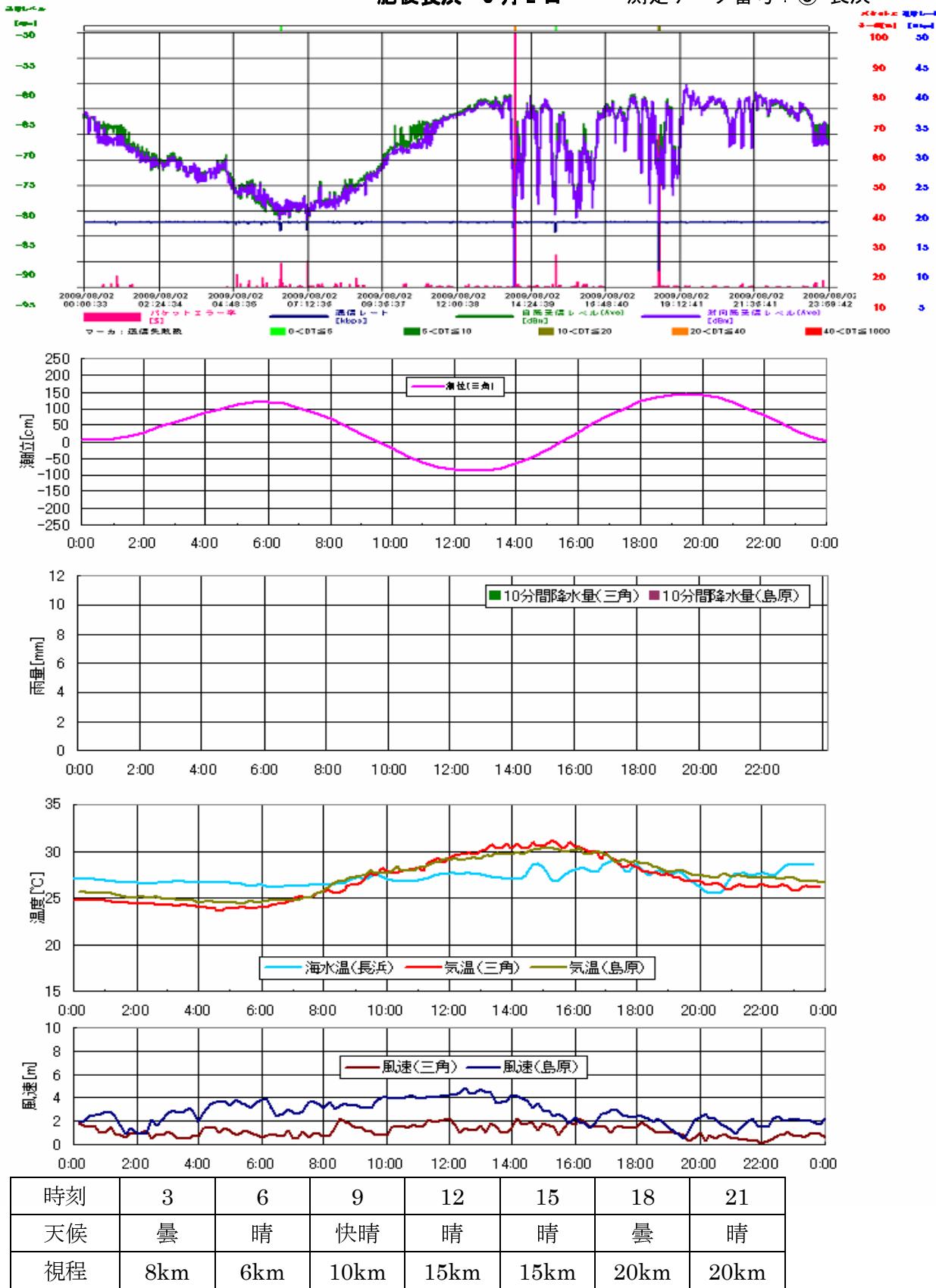
NTT島原白土 7月28日

測定データ番号：④-島原

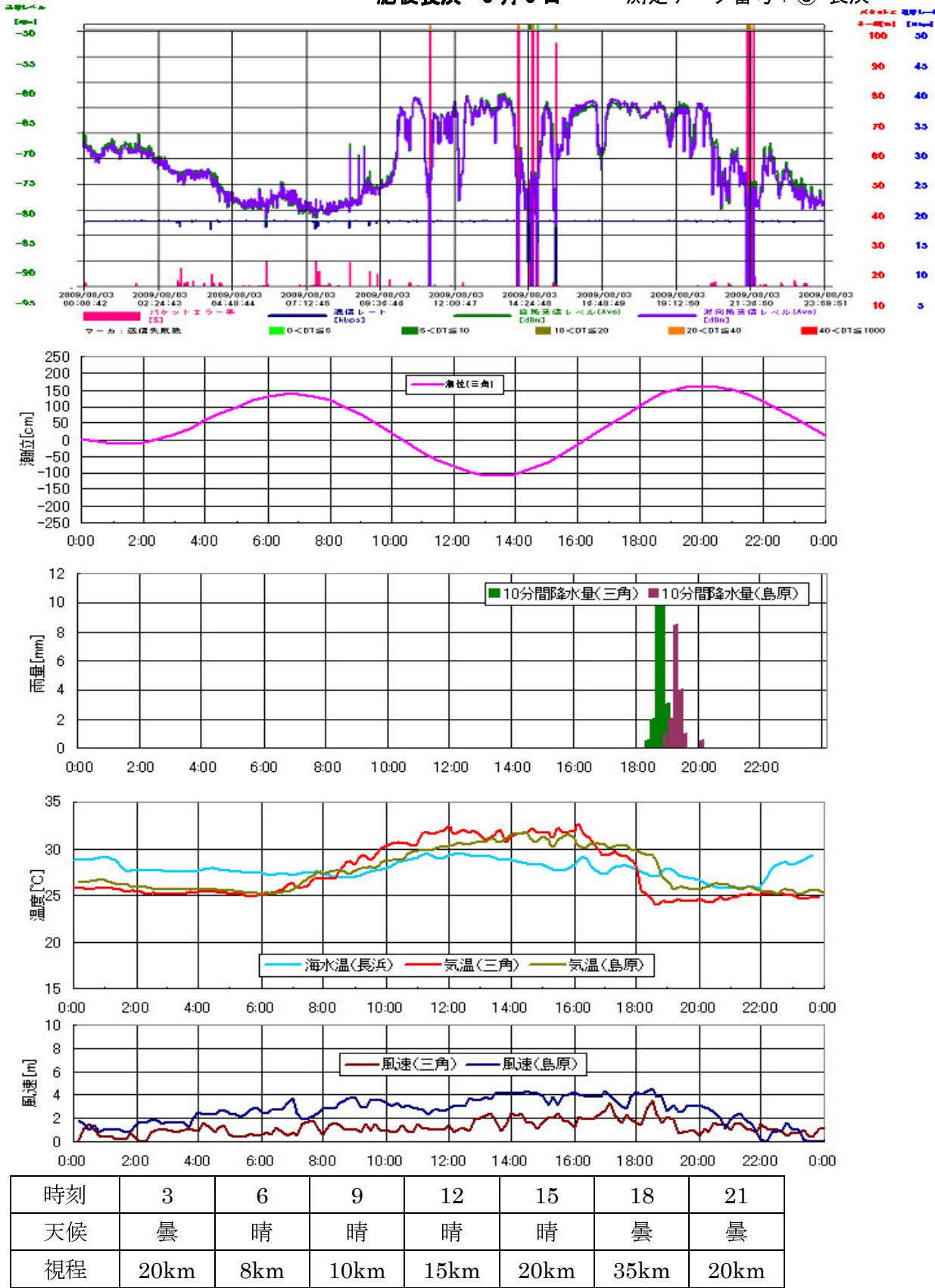


肥後長浜 8月2日

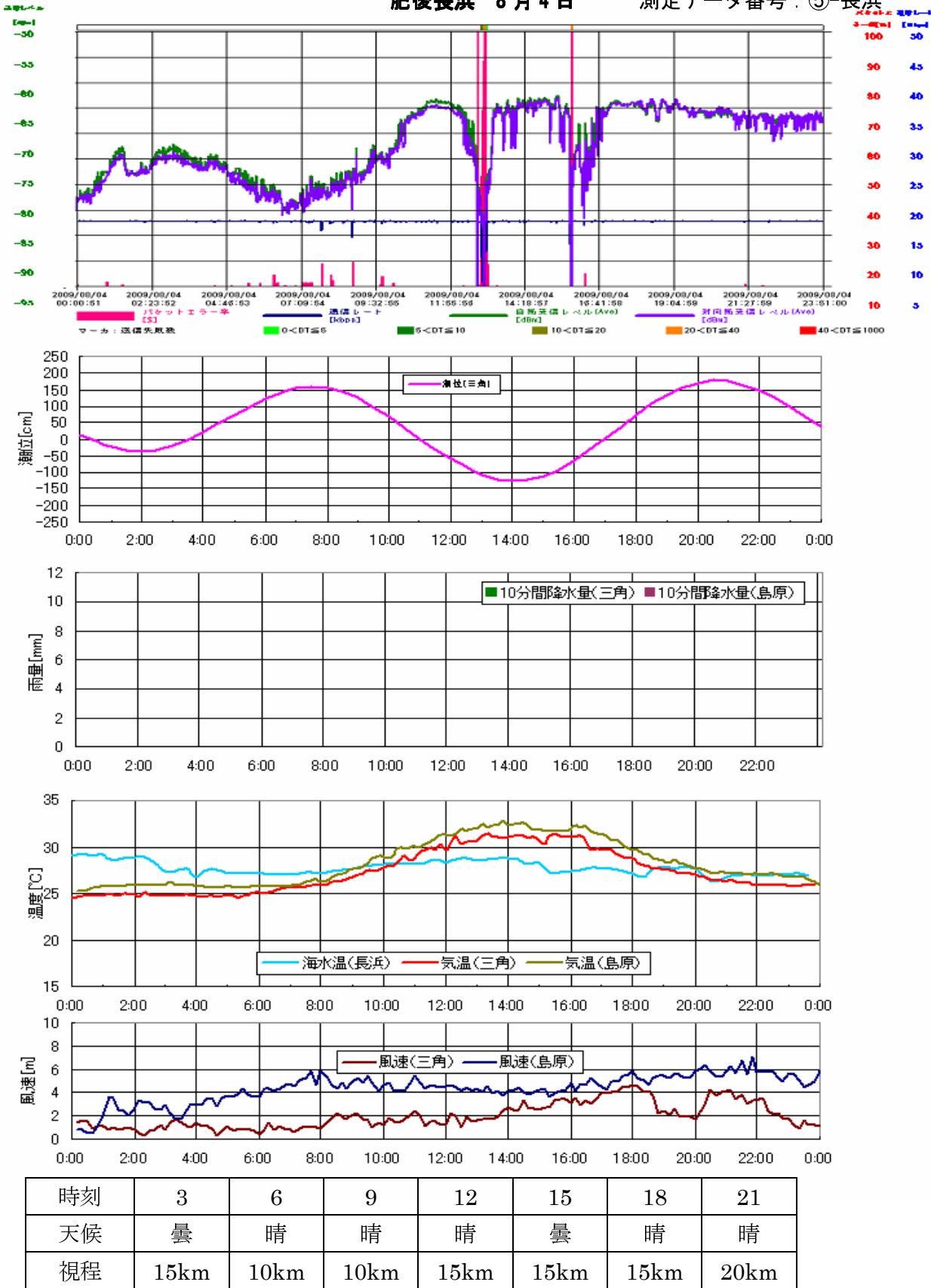
測定データ番号：⑤-長浜



肥後長浜 8月3日 測定データ番号：⑤-長浜

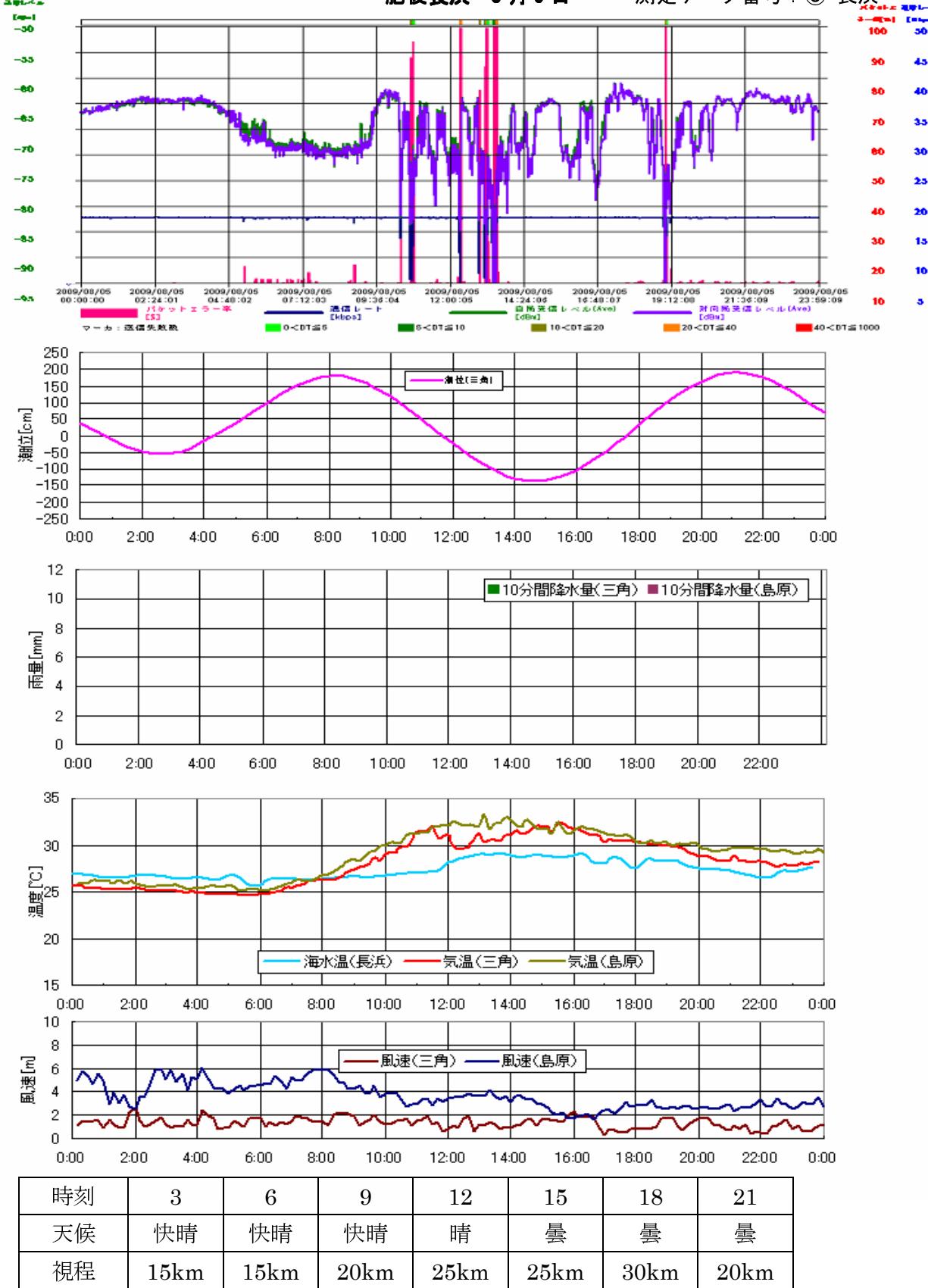


肥後長浜 8月4日 測定データ番号：⑤-長浜

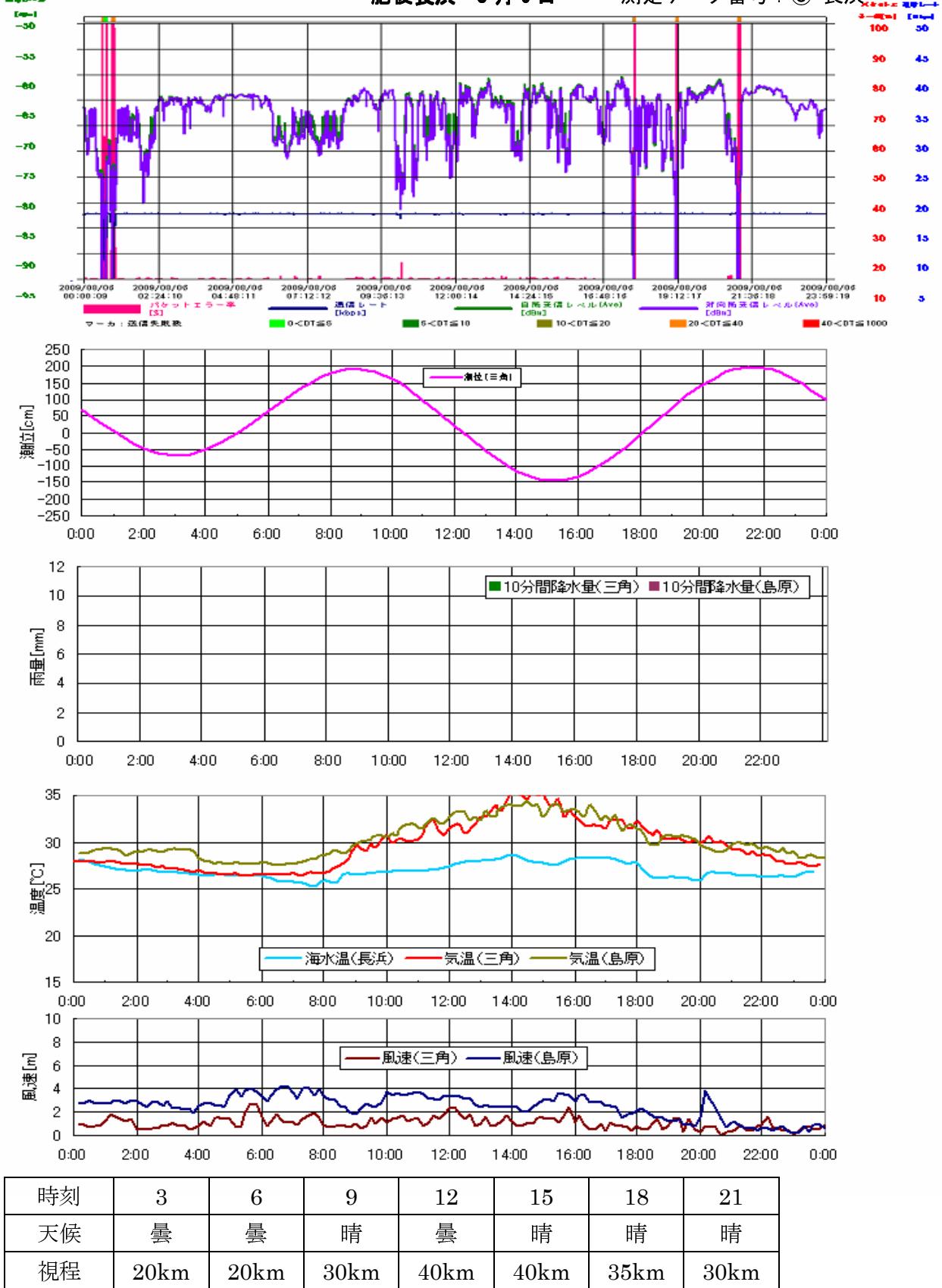


肥後長浜 8月5日

測定データ番号：⑤-長浜

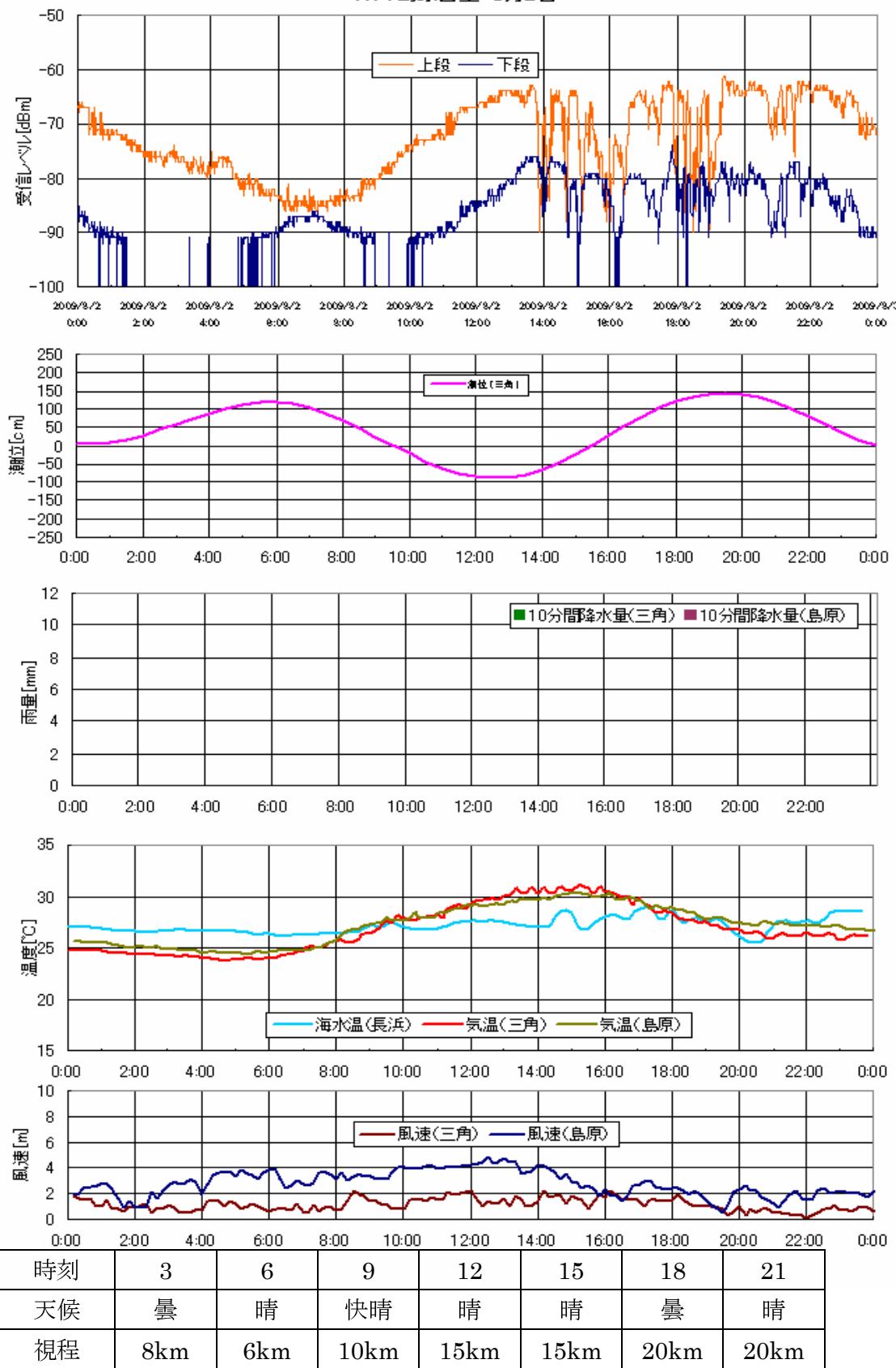


肥後長浜 8月6日 測定データ番号：⑤-長浜



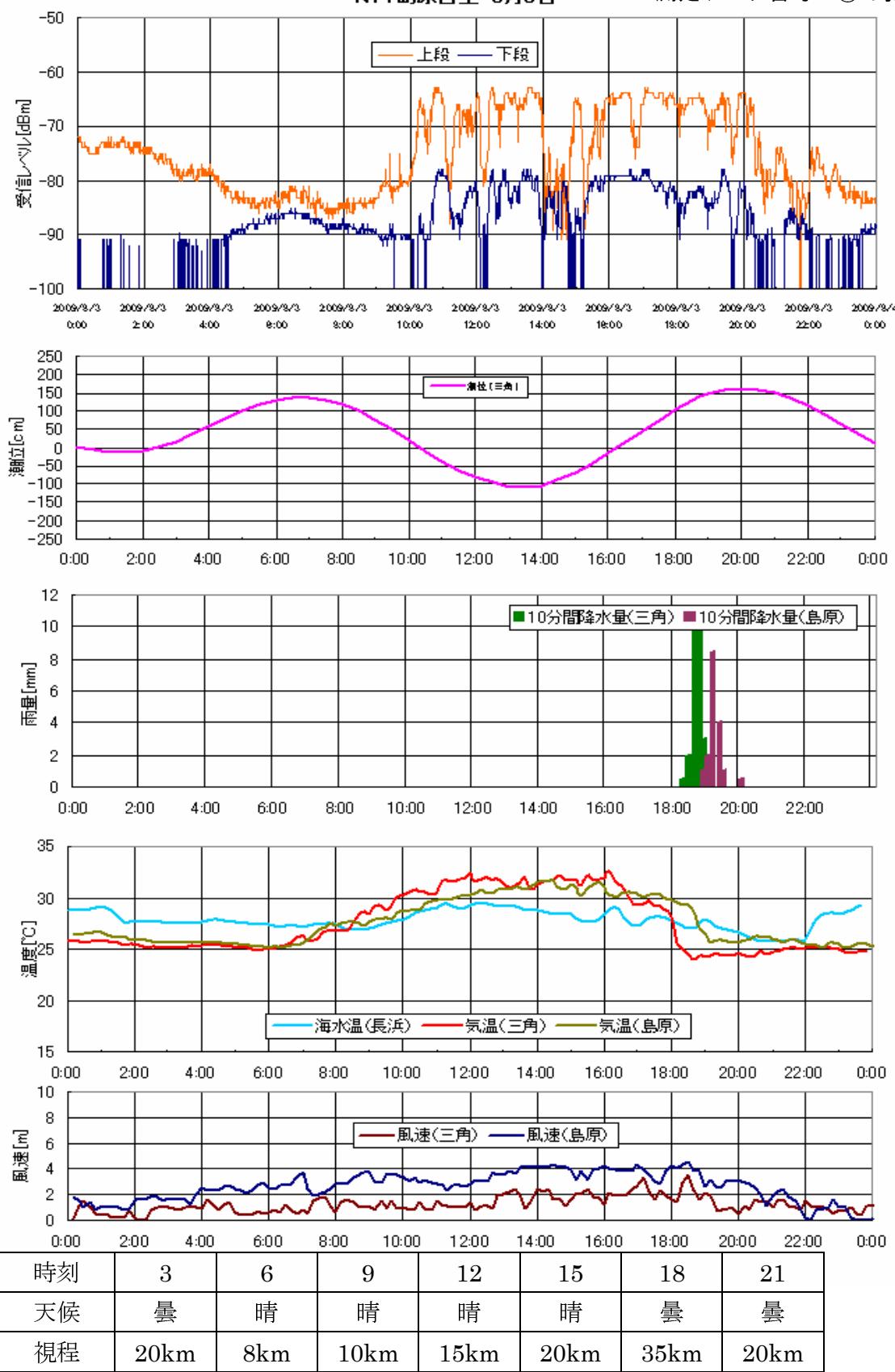
NTT島原白土 8月2日

測定データ番号：⑤-島原



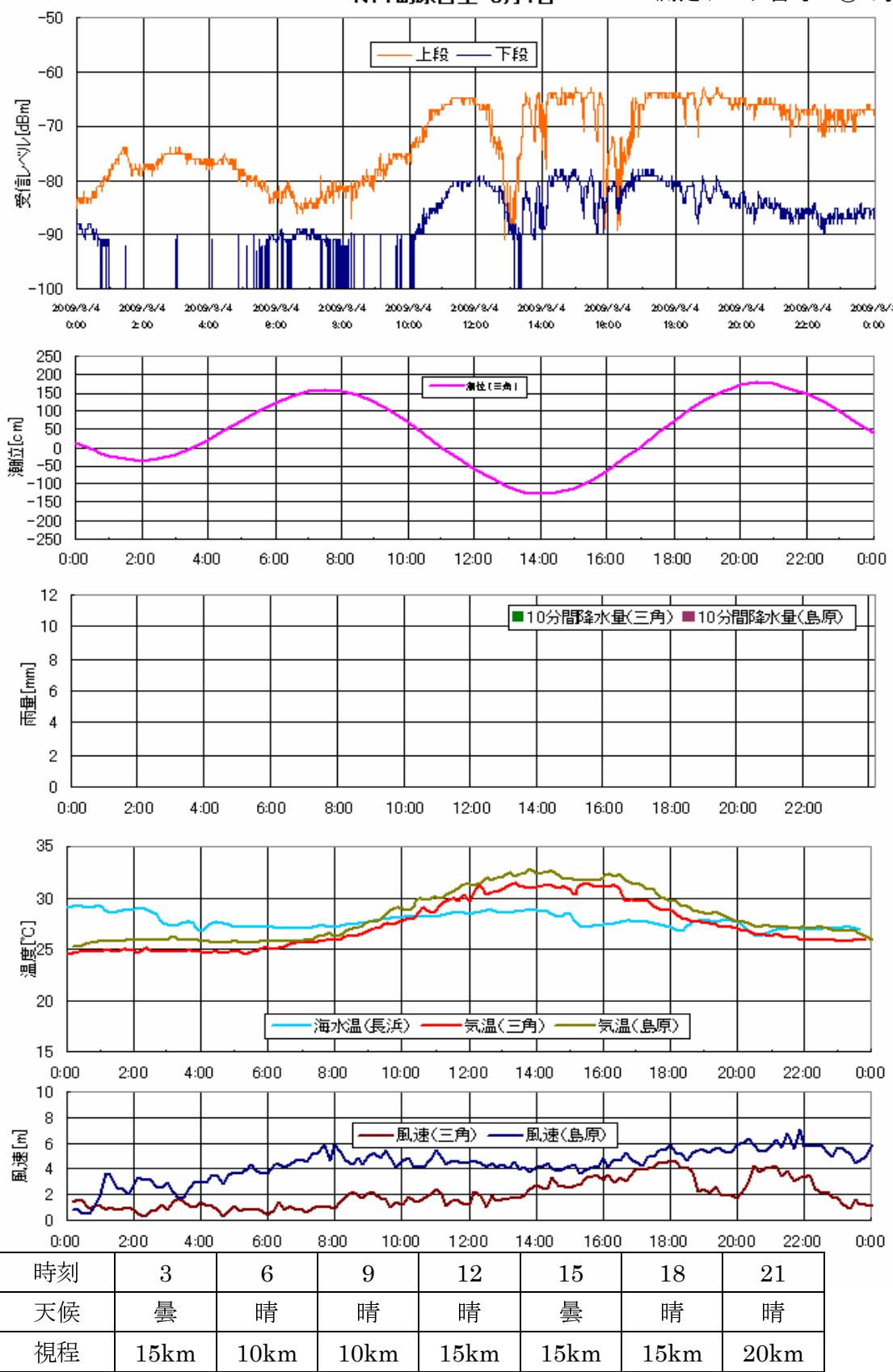
NTT島原白土 8月3日

測定データ番号：⑤-島原



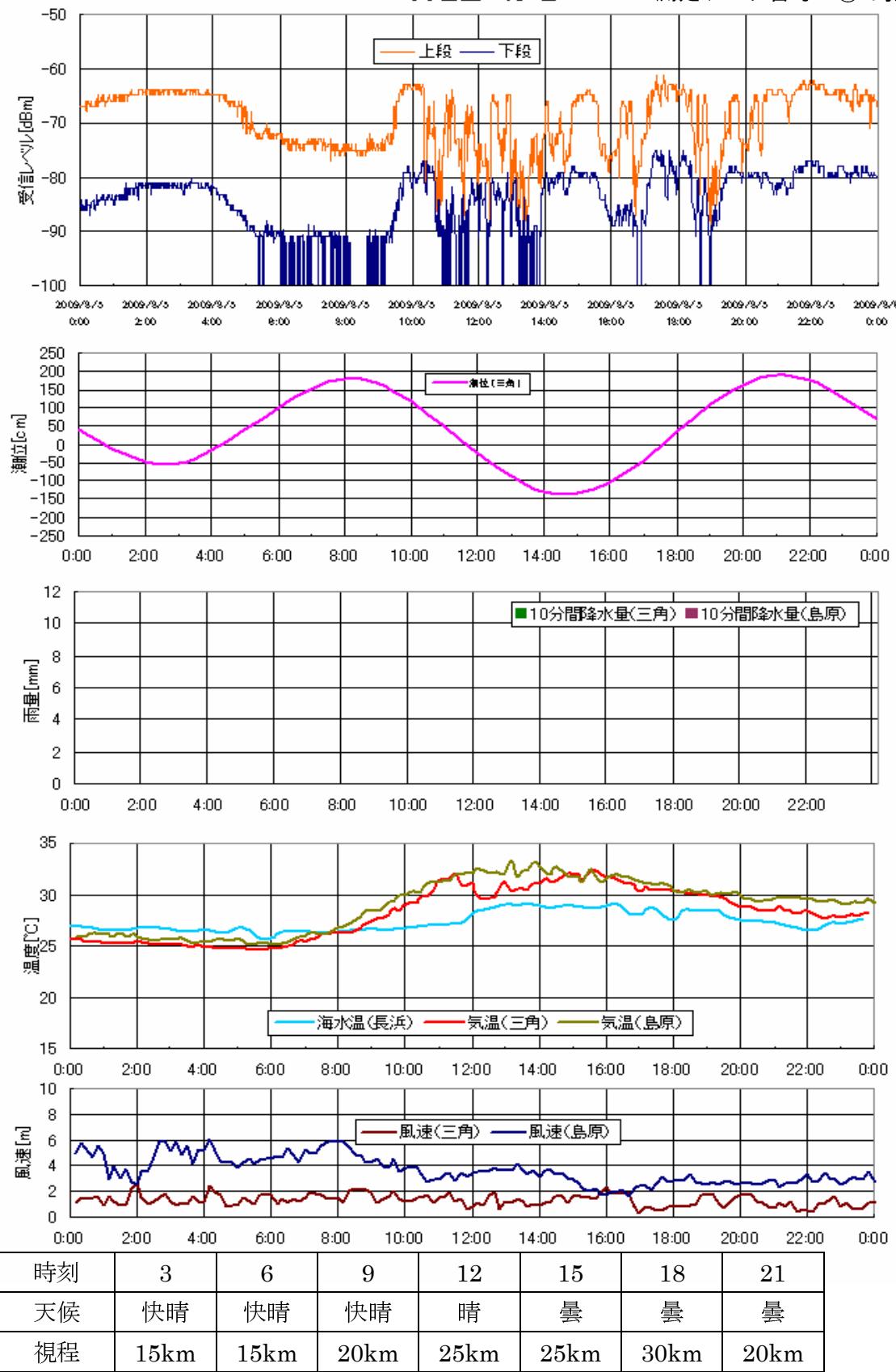
NTT島原白土 8月4日

測定データ番号：⑤-島原



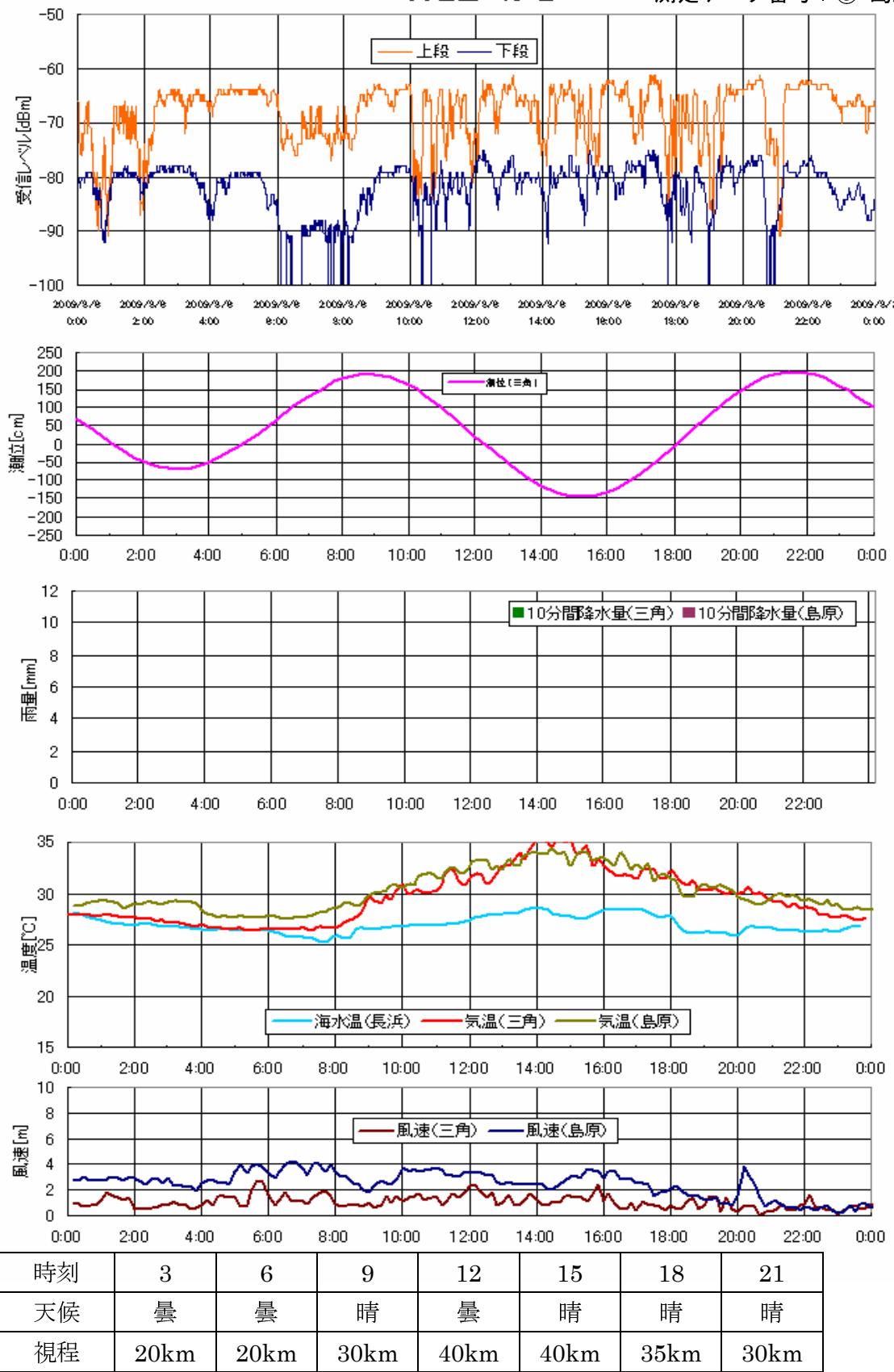
NTT島原白土 8月5日

測定データ番号：⑤-島原



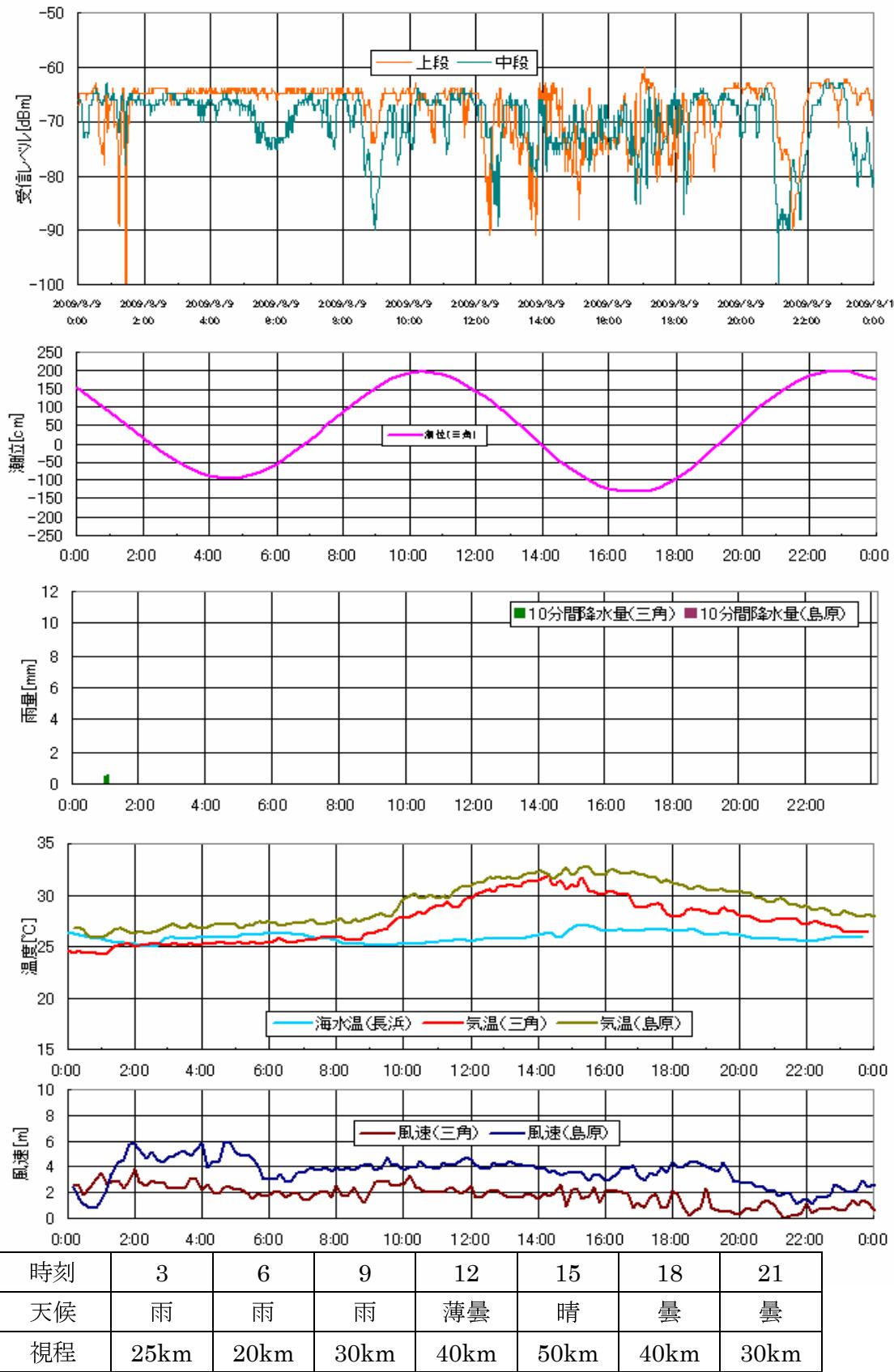
NTT島原白土 8月6日

測定データ番号：⑤-島原



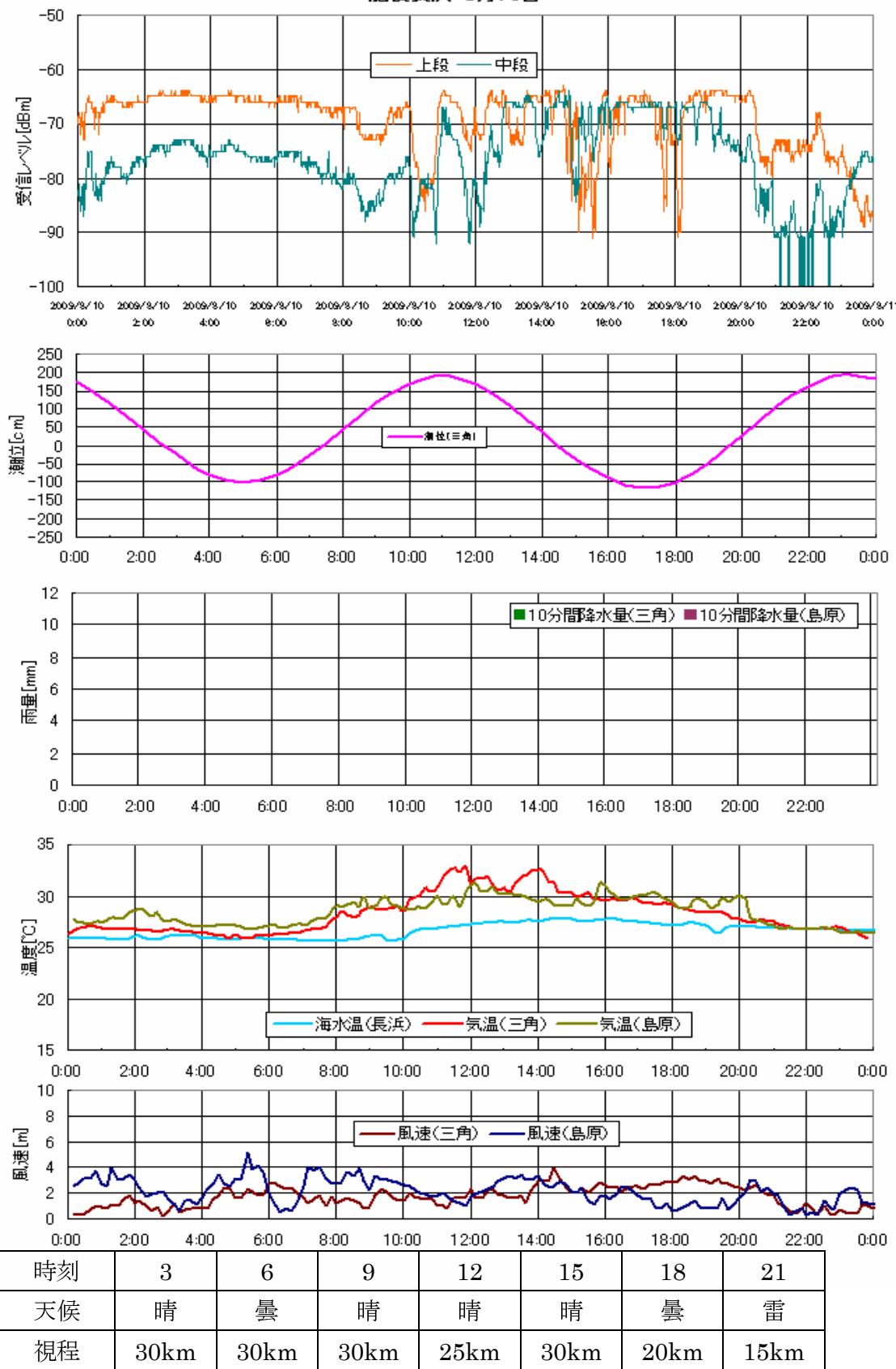
肥後長浜 8月9日

測定データ番号：⑥-長浜



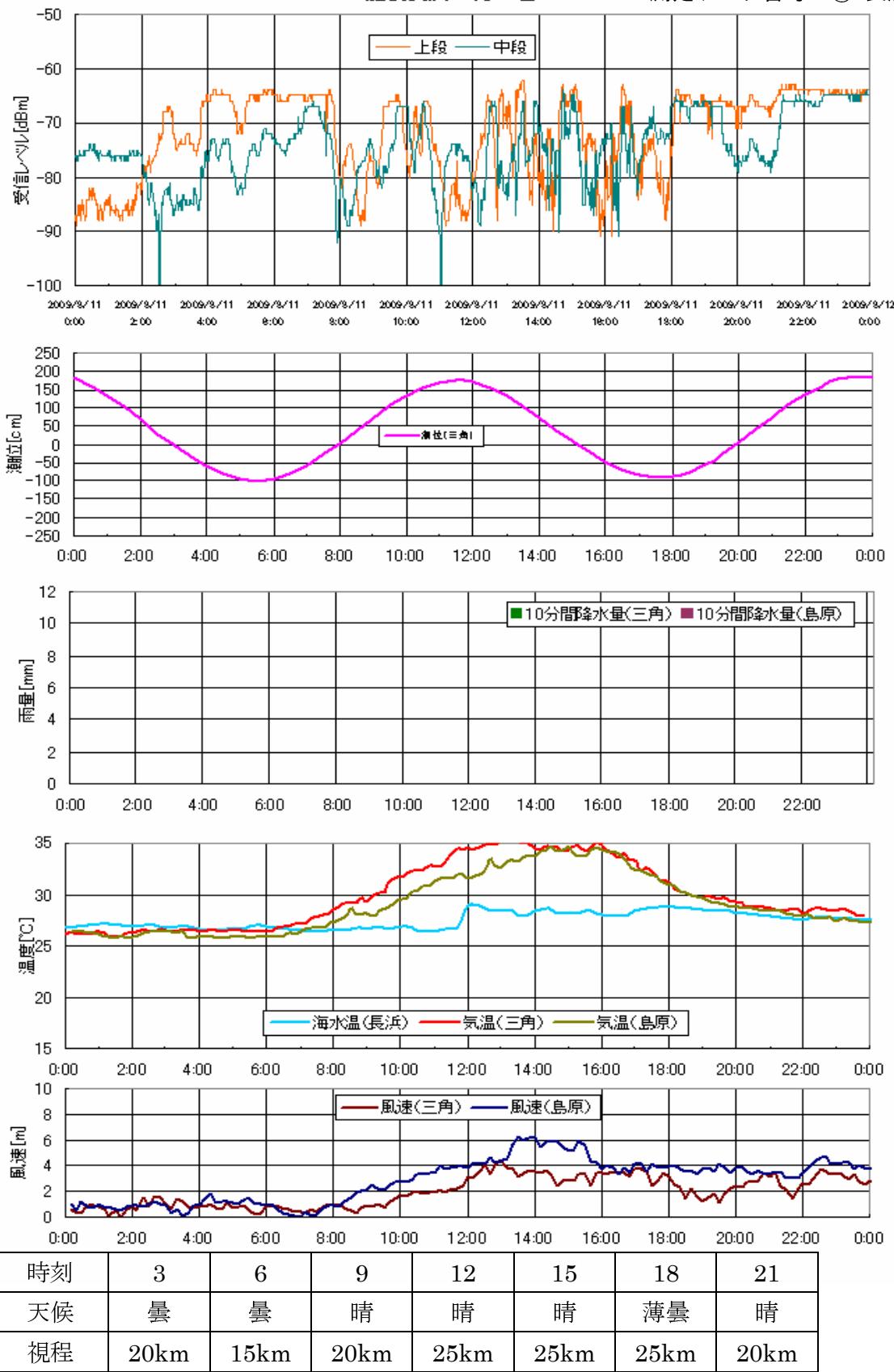
肥後長浜 8月10日

測定データ番号：⑥-長浜



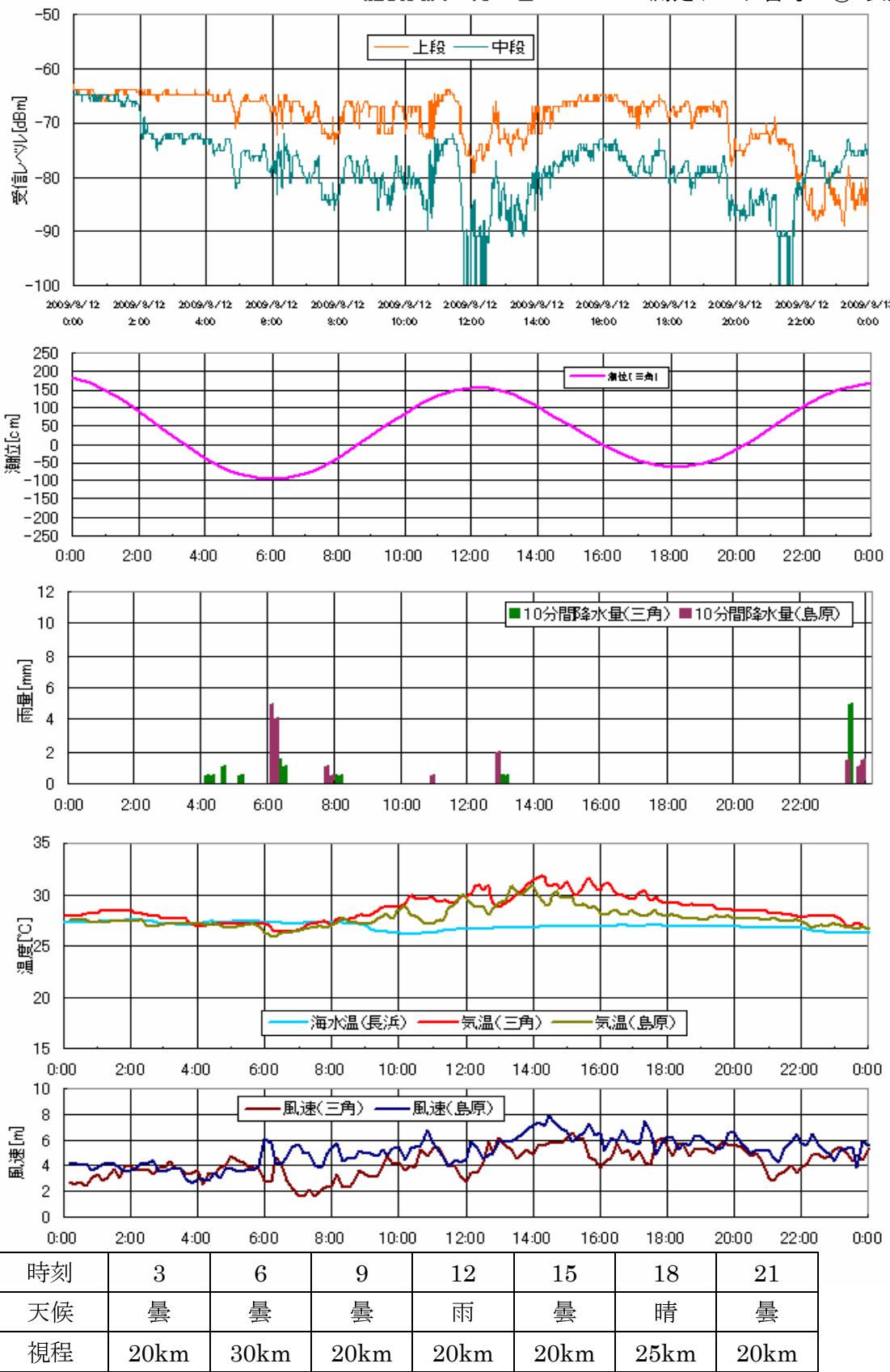
肥後長浜 8月11日

測定データ番号 : ⑥-長浜



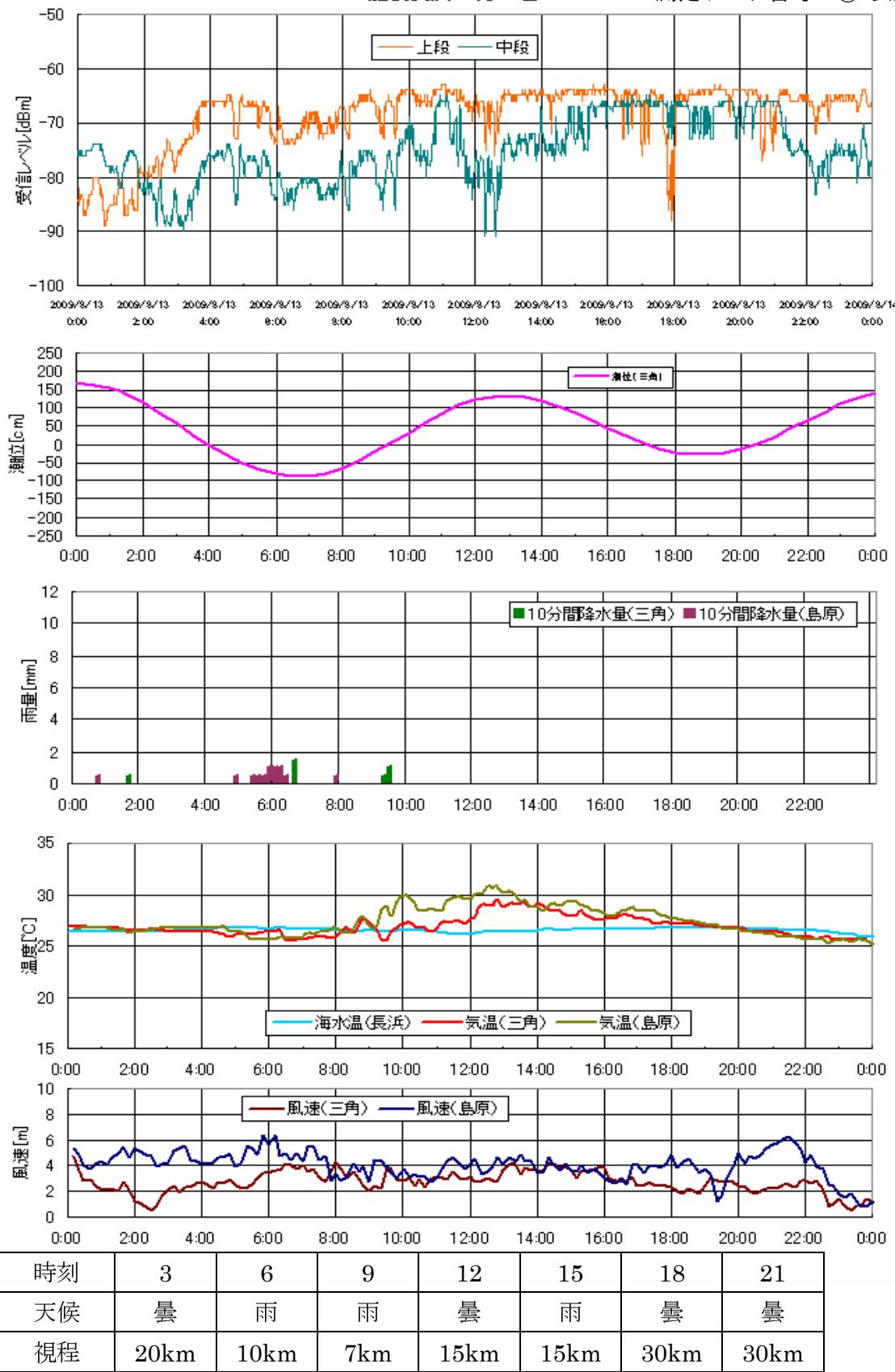
肥後長浜 8月12日

測定データ番号：⑥-長浜



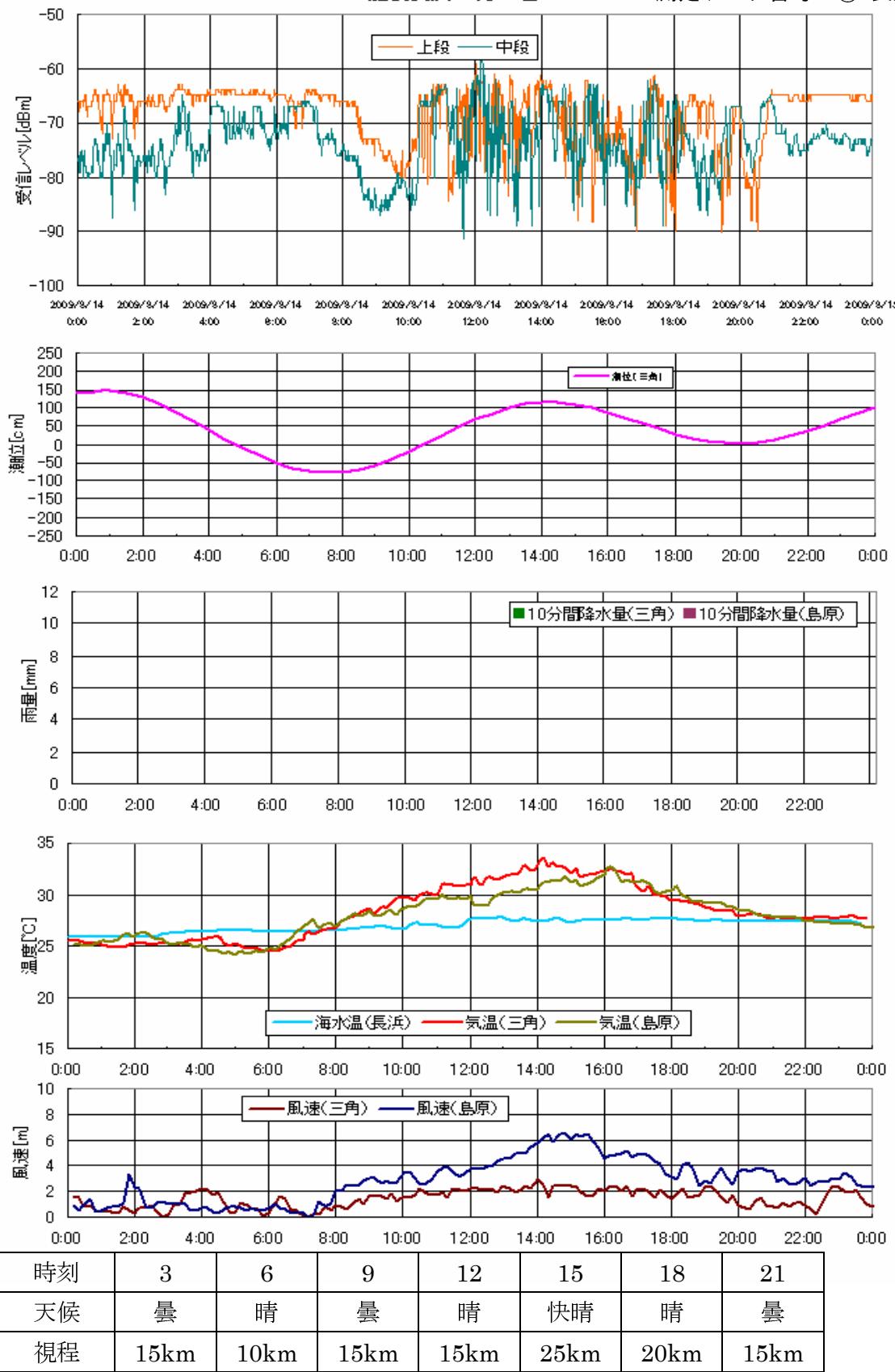
肥後長浜 8月13日

測定データ番号 : ⑥-長浜



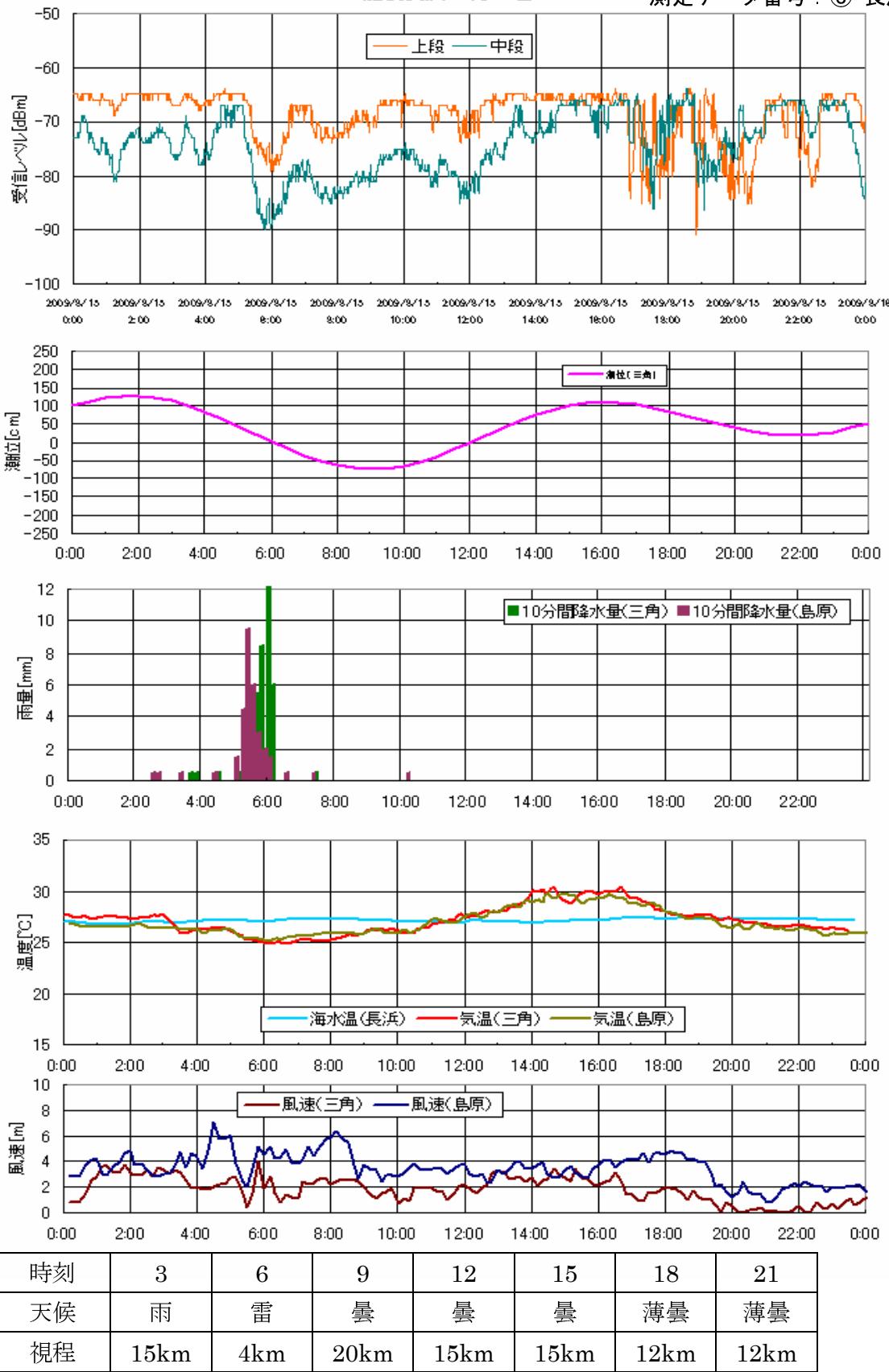
肥後長浜 8月14日

測定データ番号 : ⑥-長浜



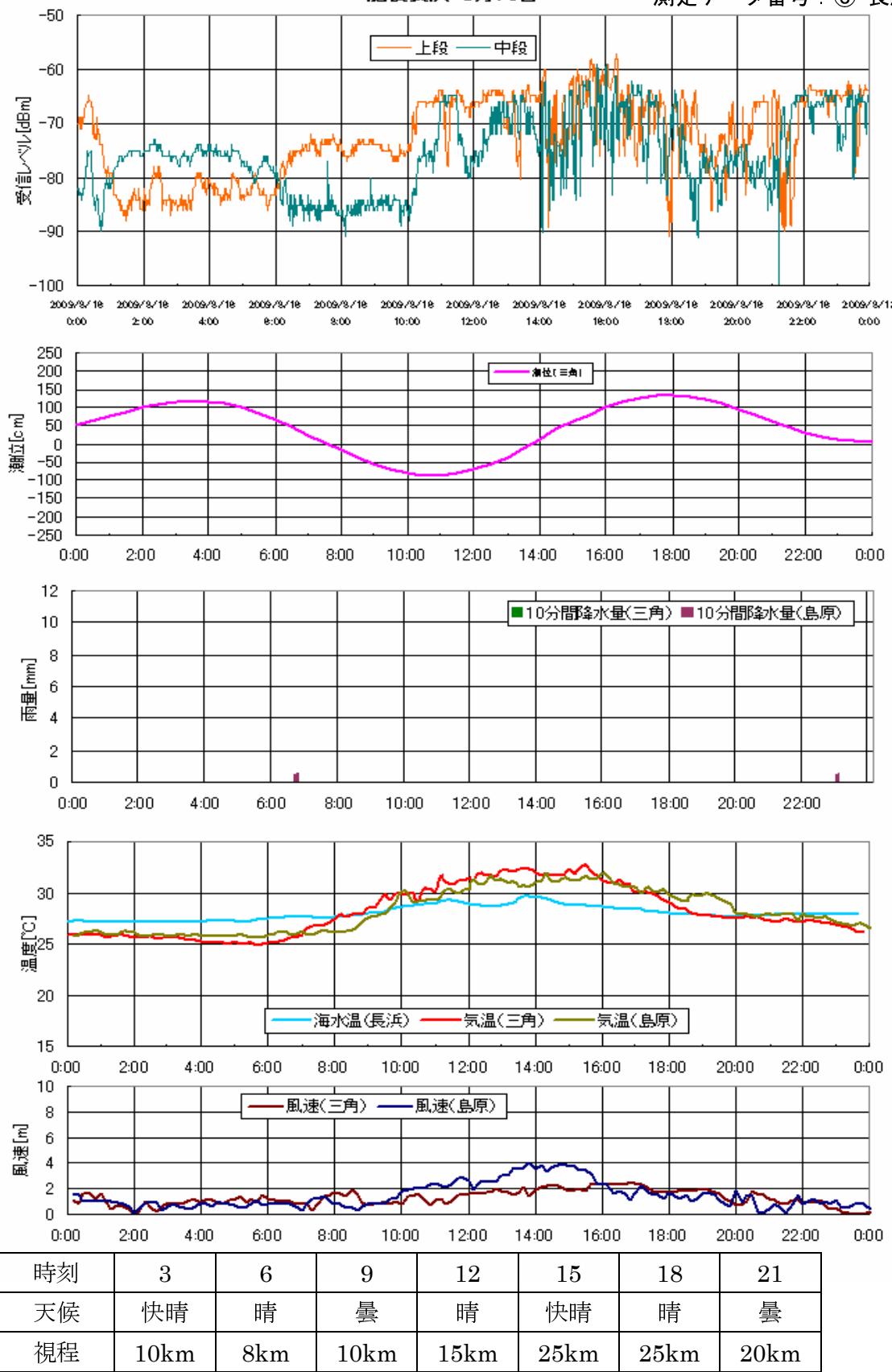
肥後長浜 8月15日

測定データ番号 : ⑥-長浜



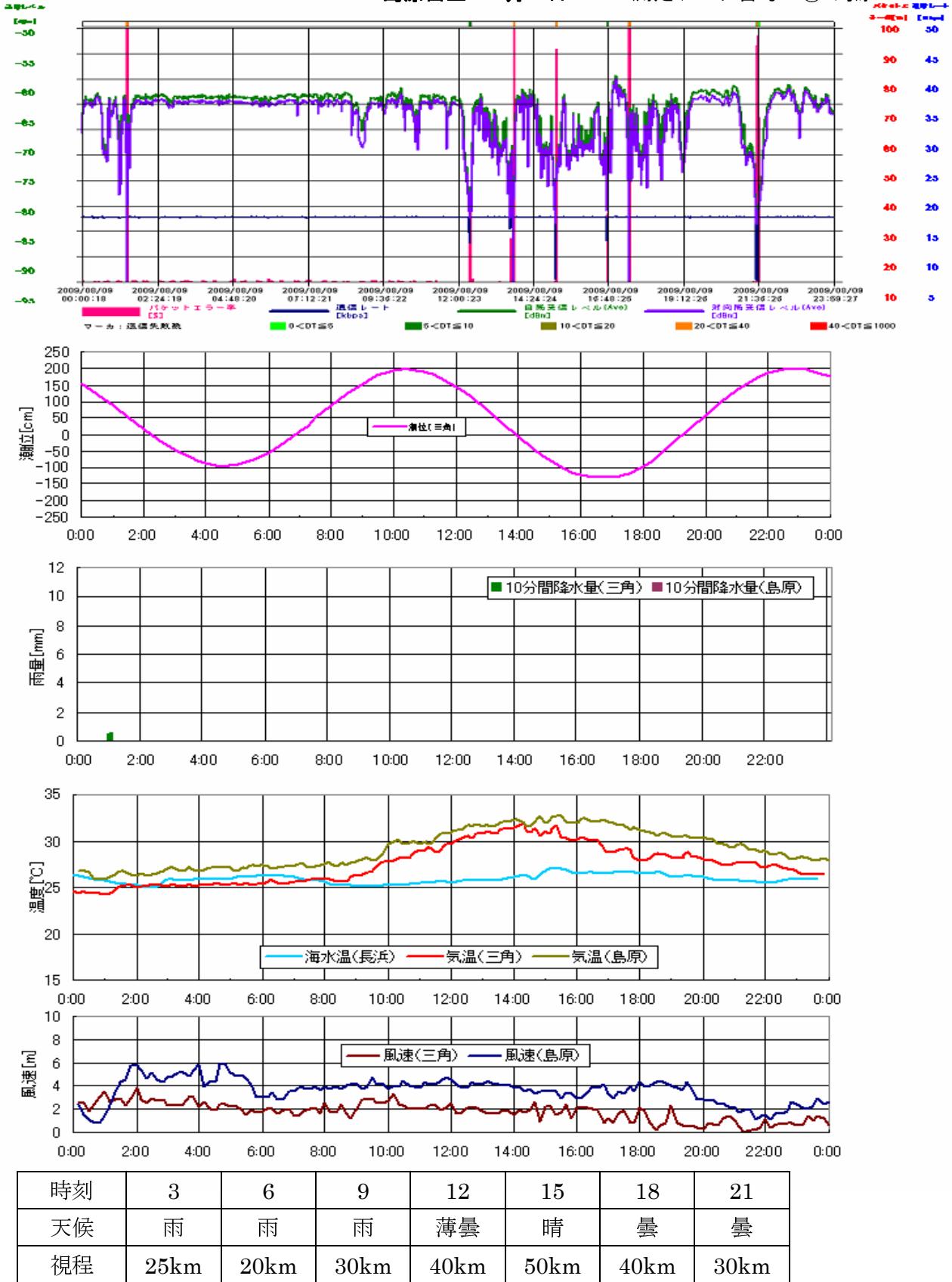
肥後長浜 8月16日

測定データ番号 : ⑥-長浜



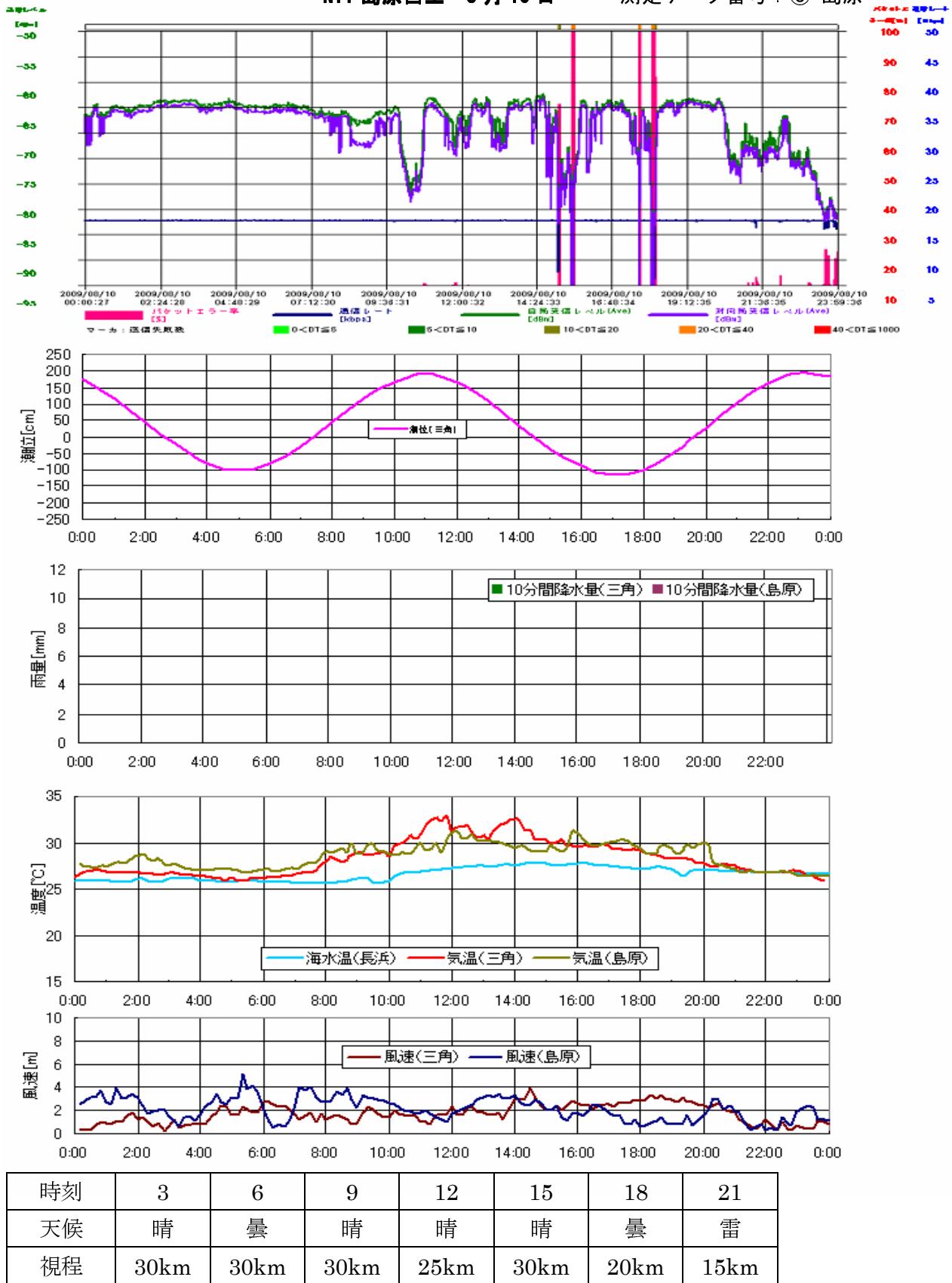
NTT 島原白土 8月9日

測定データ番号 : ⑥-島原



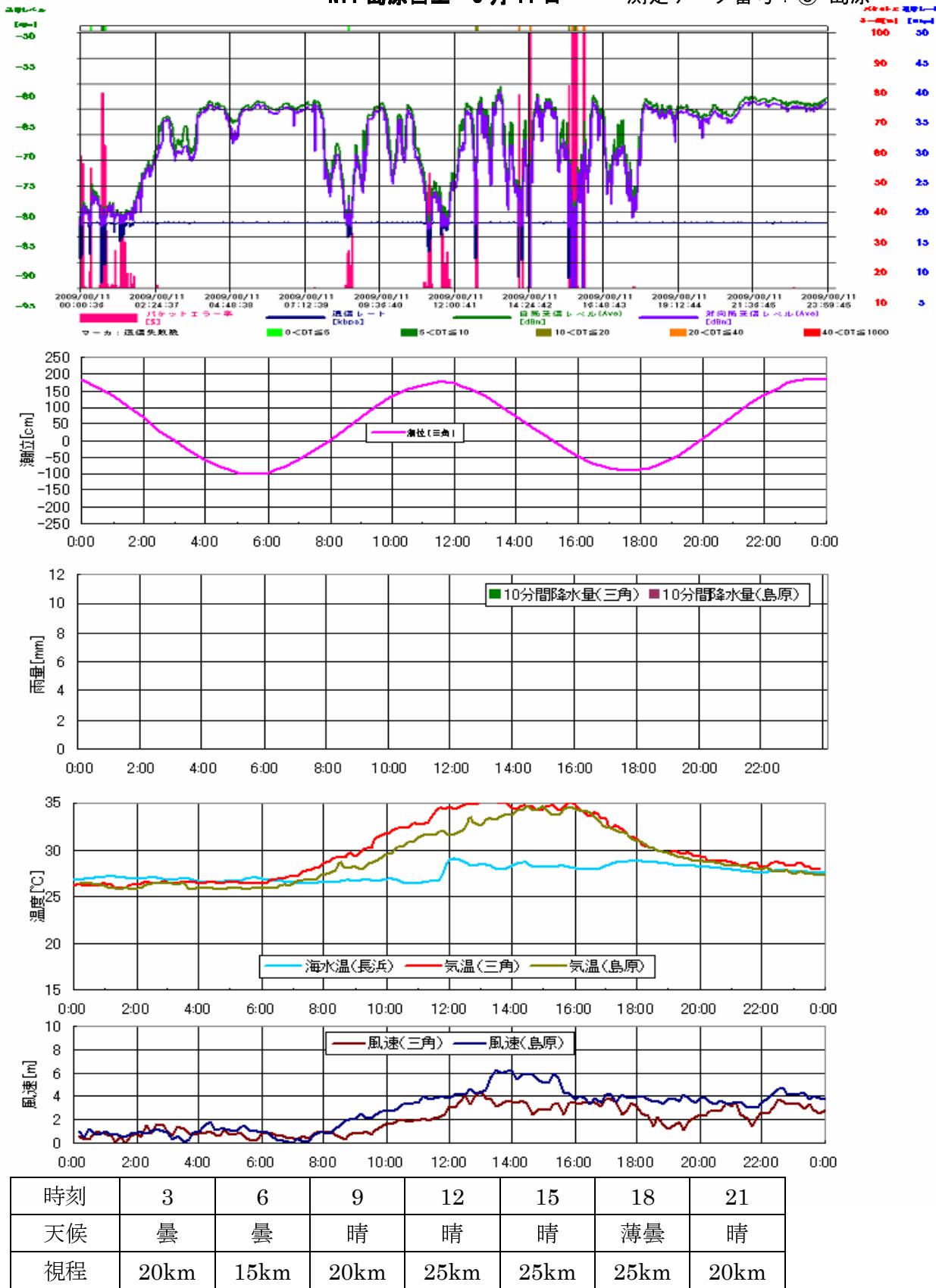
NTT 島原白土 8月10日

測定データ番号 : ⑥-島原



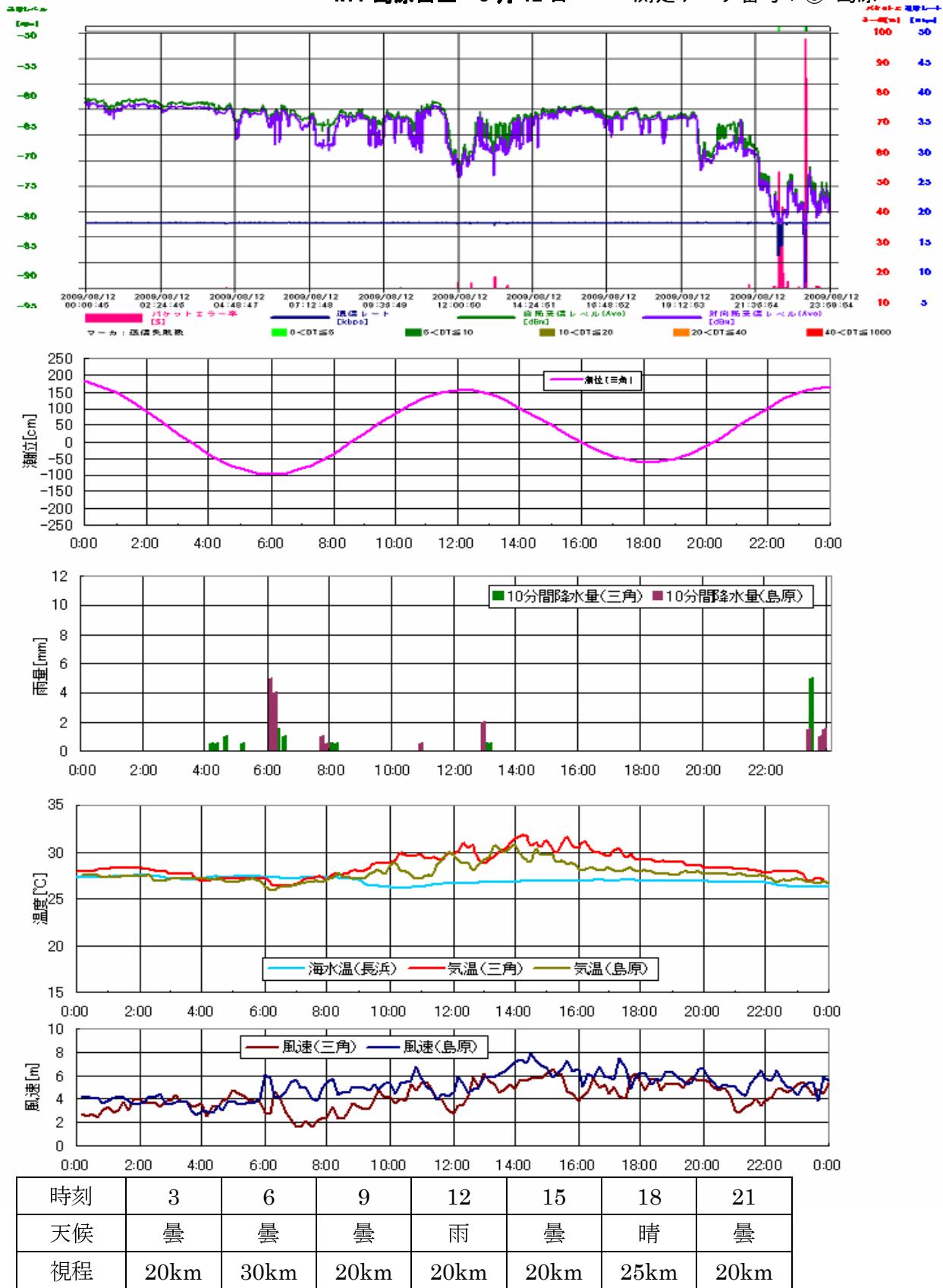
NTT 島原白土 8月11日

測定データ番号 : ⑥-島原



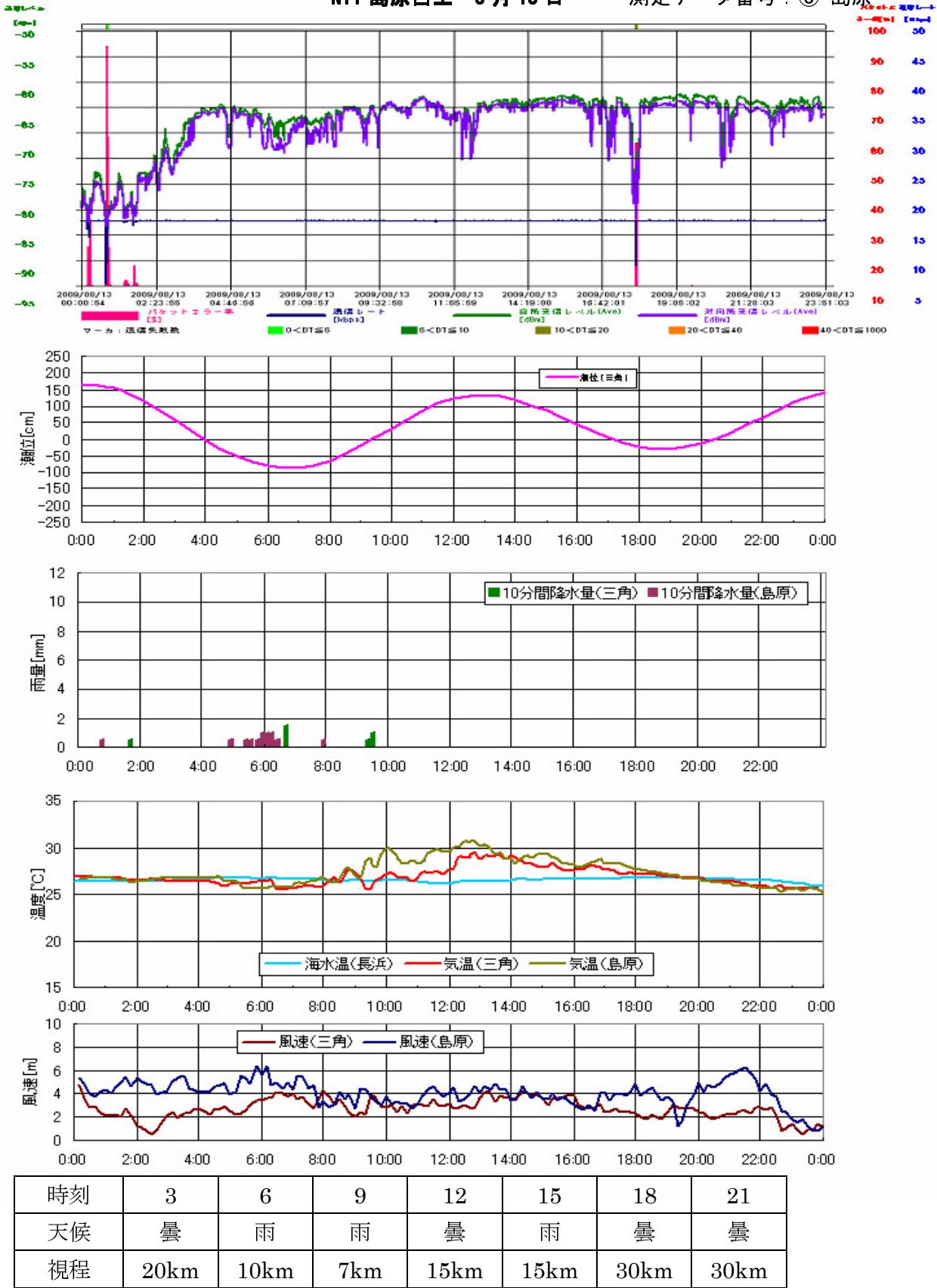
NTT 島原白土 8月12日

測定データ番号 : ⑥-島原



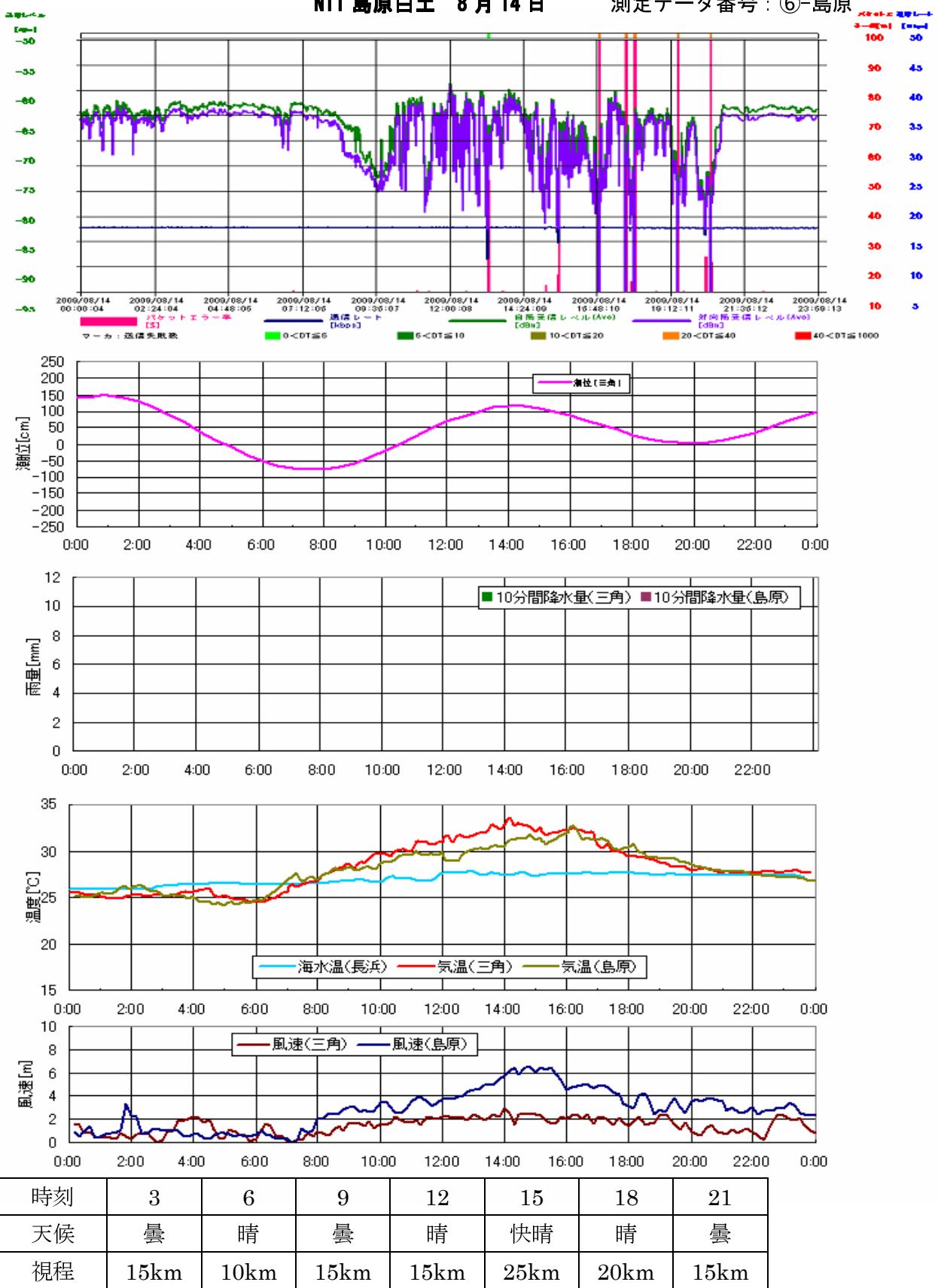
NTT 島原白土 8月13日

測定データ番号 : ⑥-島原



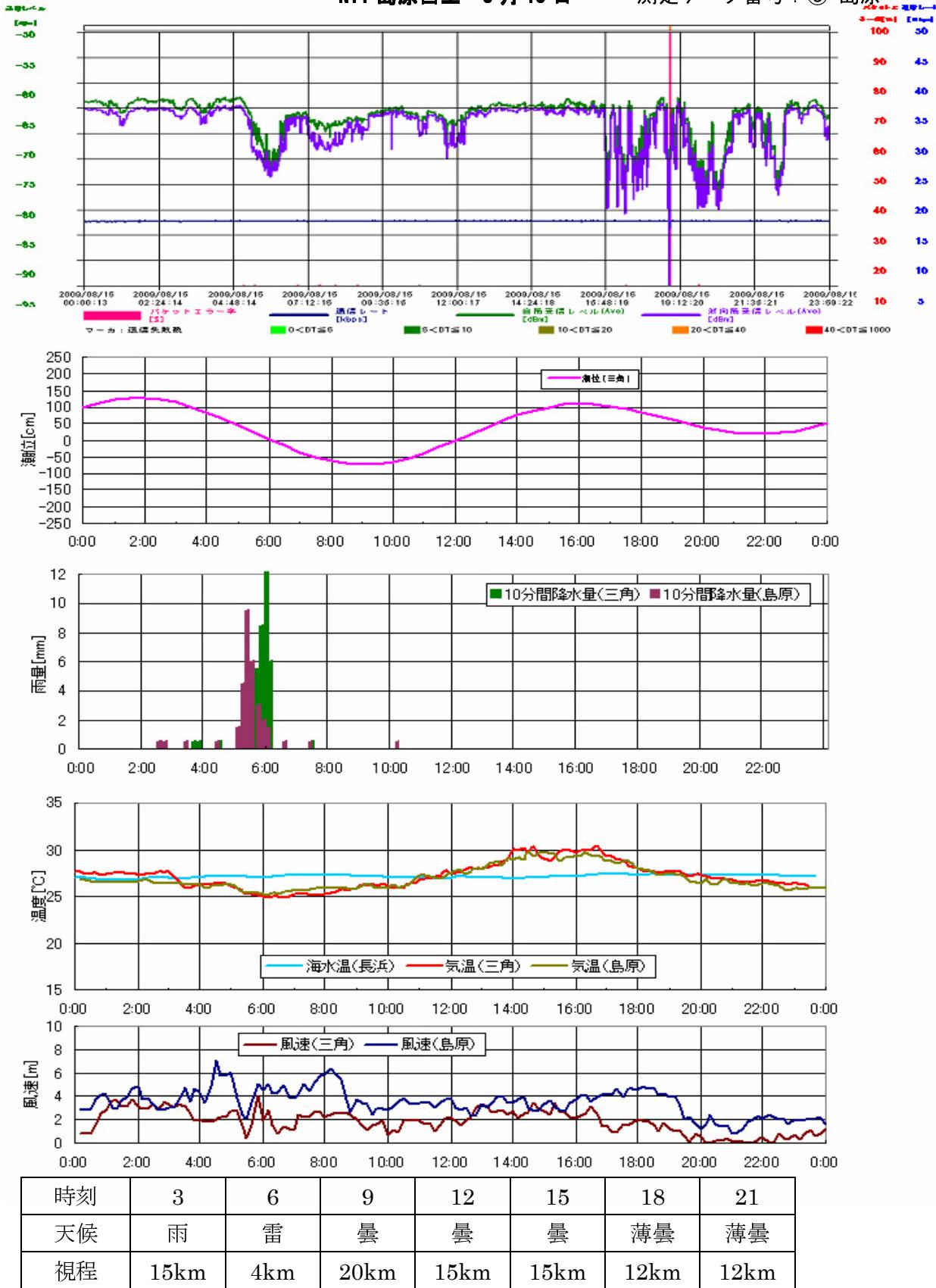
NTT 島原白土 8月14日

測定データ番号 : ⑥-島原

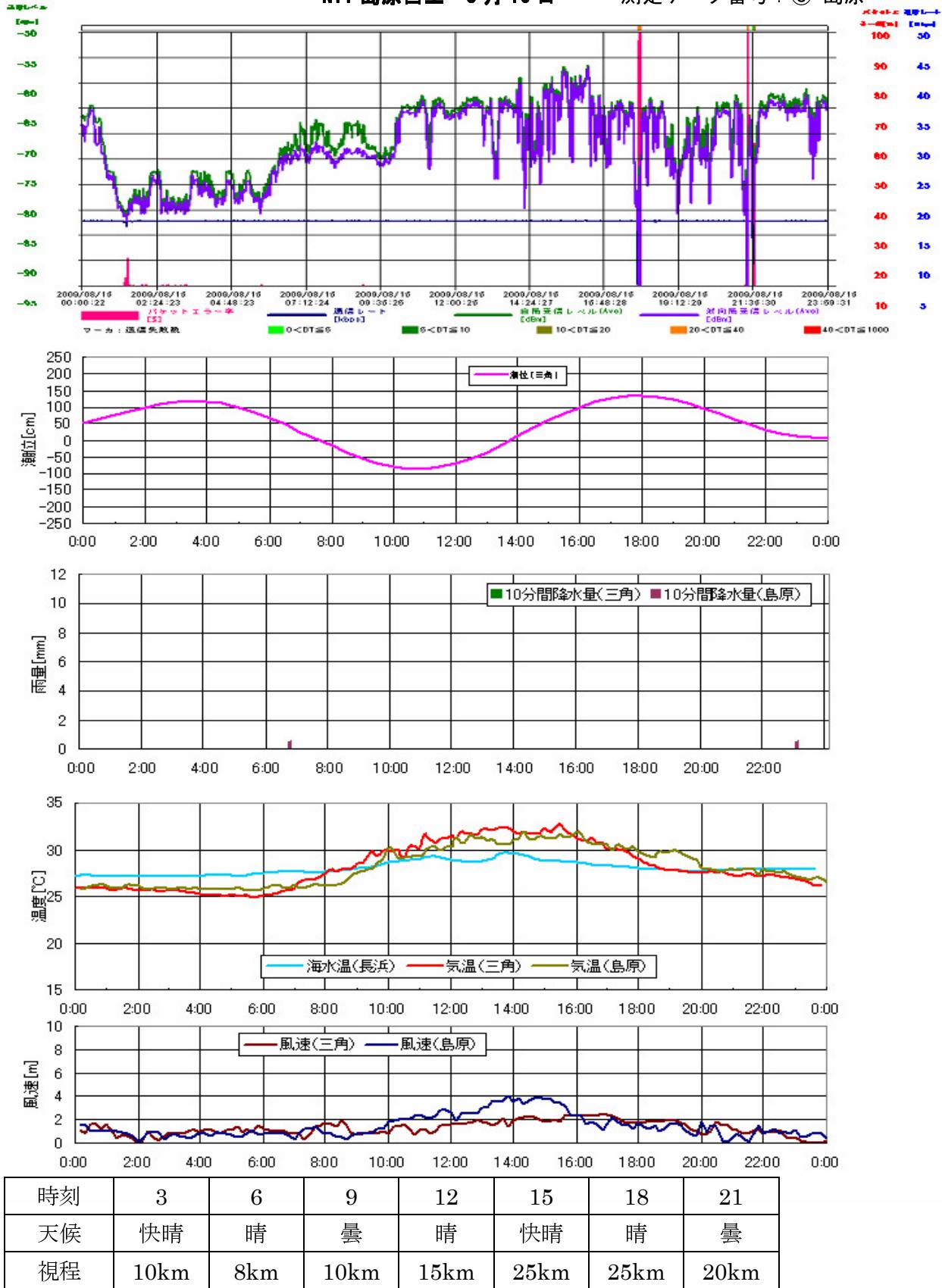


NTT 島原白土 8月15日

測定データ番号 : ⑥-島原

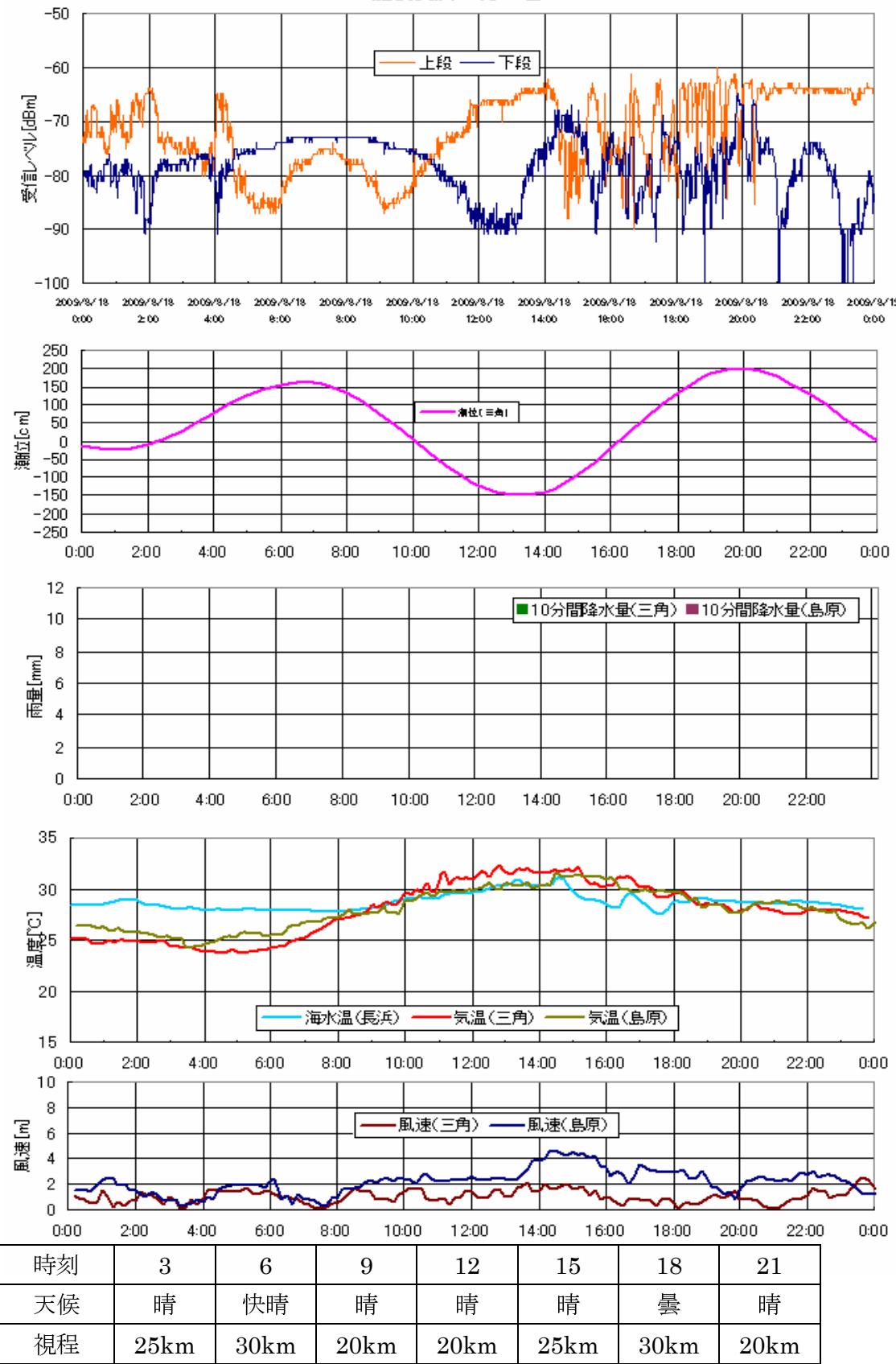


NTT 島原白土 8月16日 測定データ番号：⑥-島原



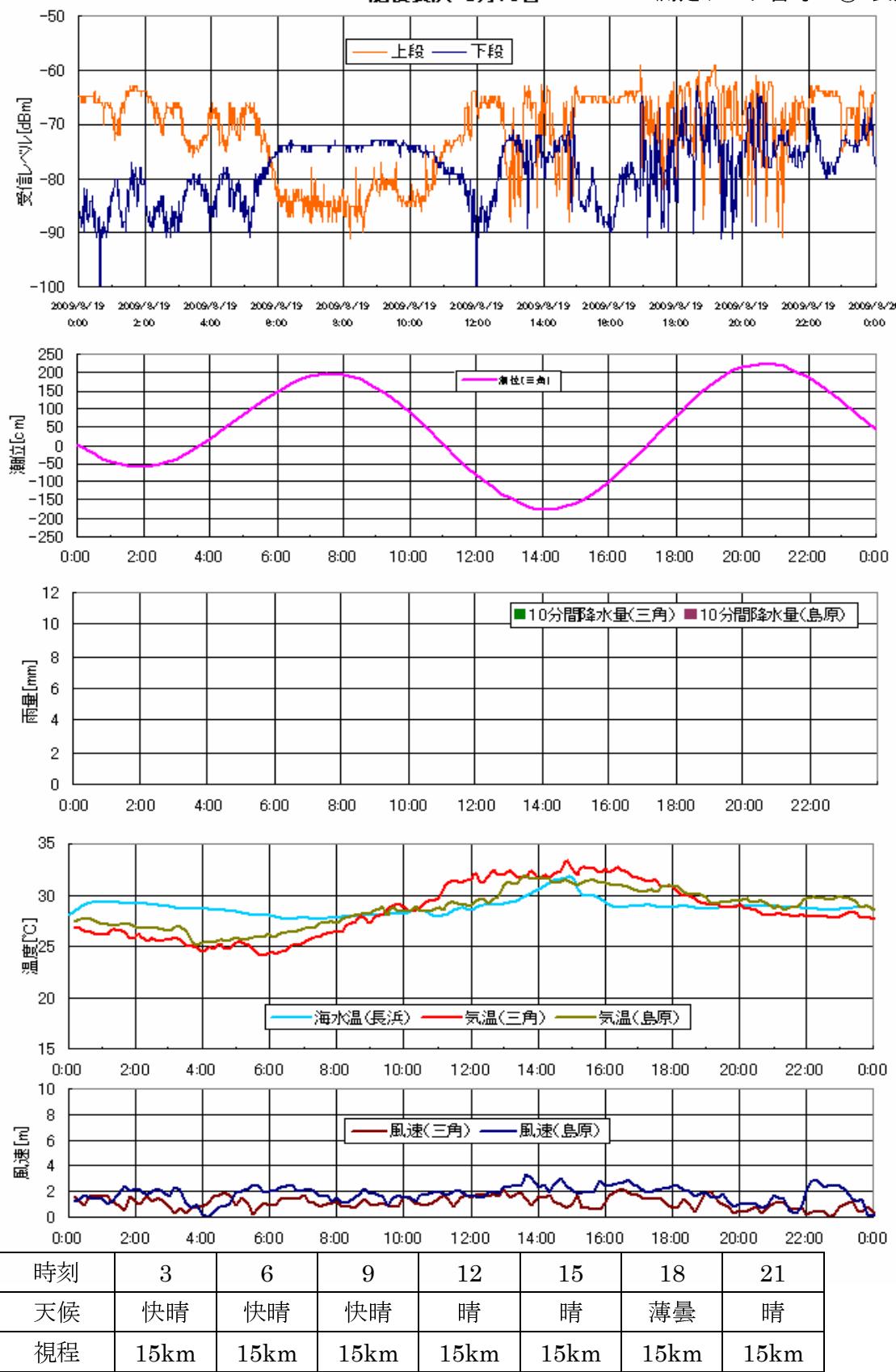
肥後長浜 8月18日

測定データ番号：⑦-長浜



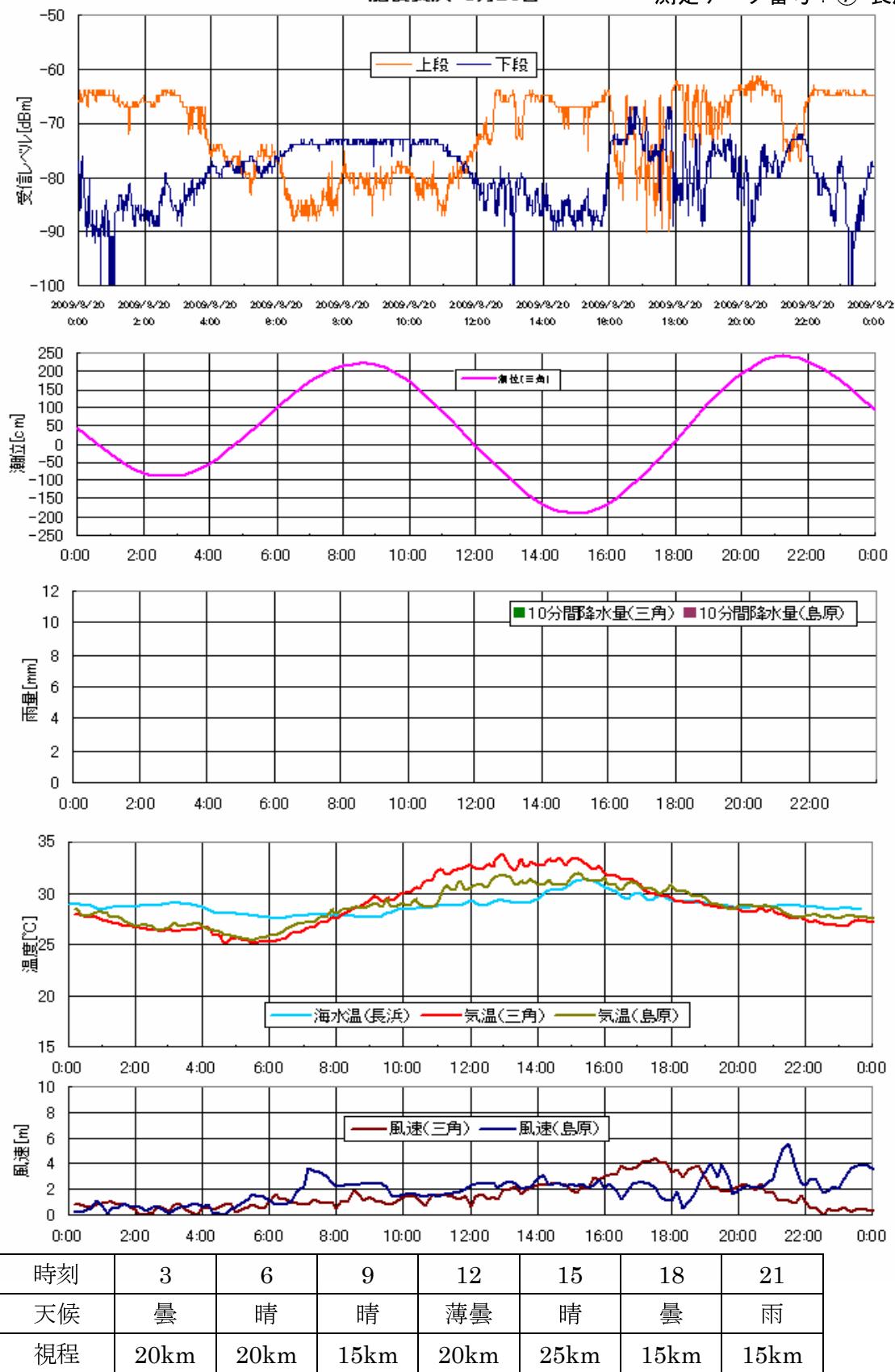
肥後長浜 8月19日

測定データ番号：⑦-長浜



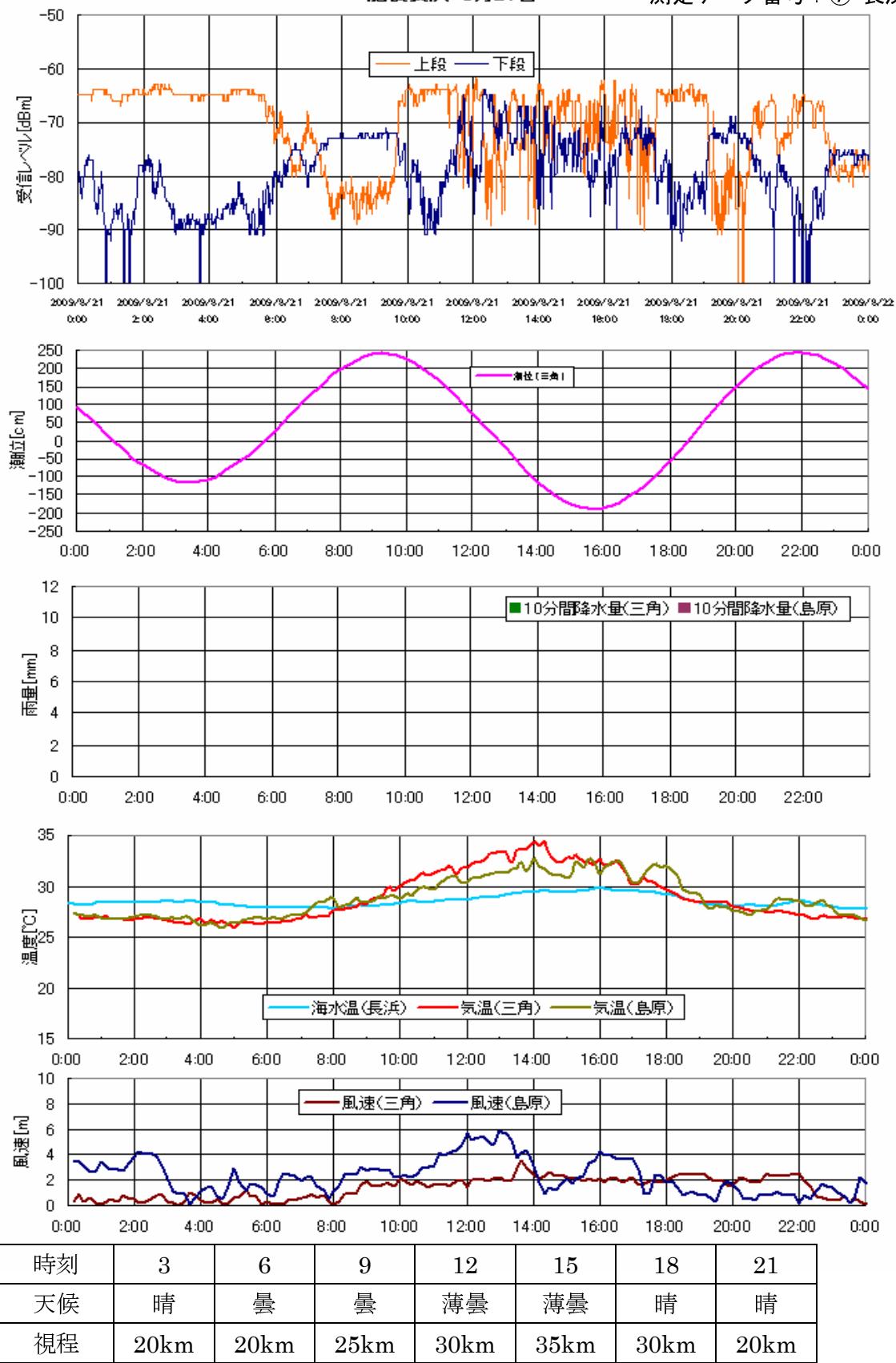
肥後長浜 8月20日

測定データ番号：⑦-長浜



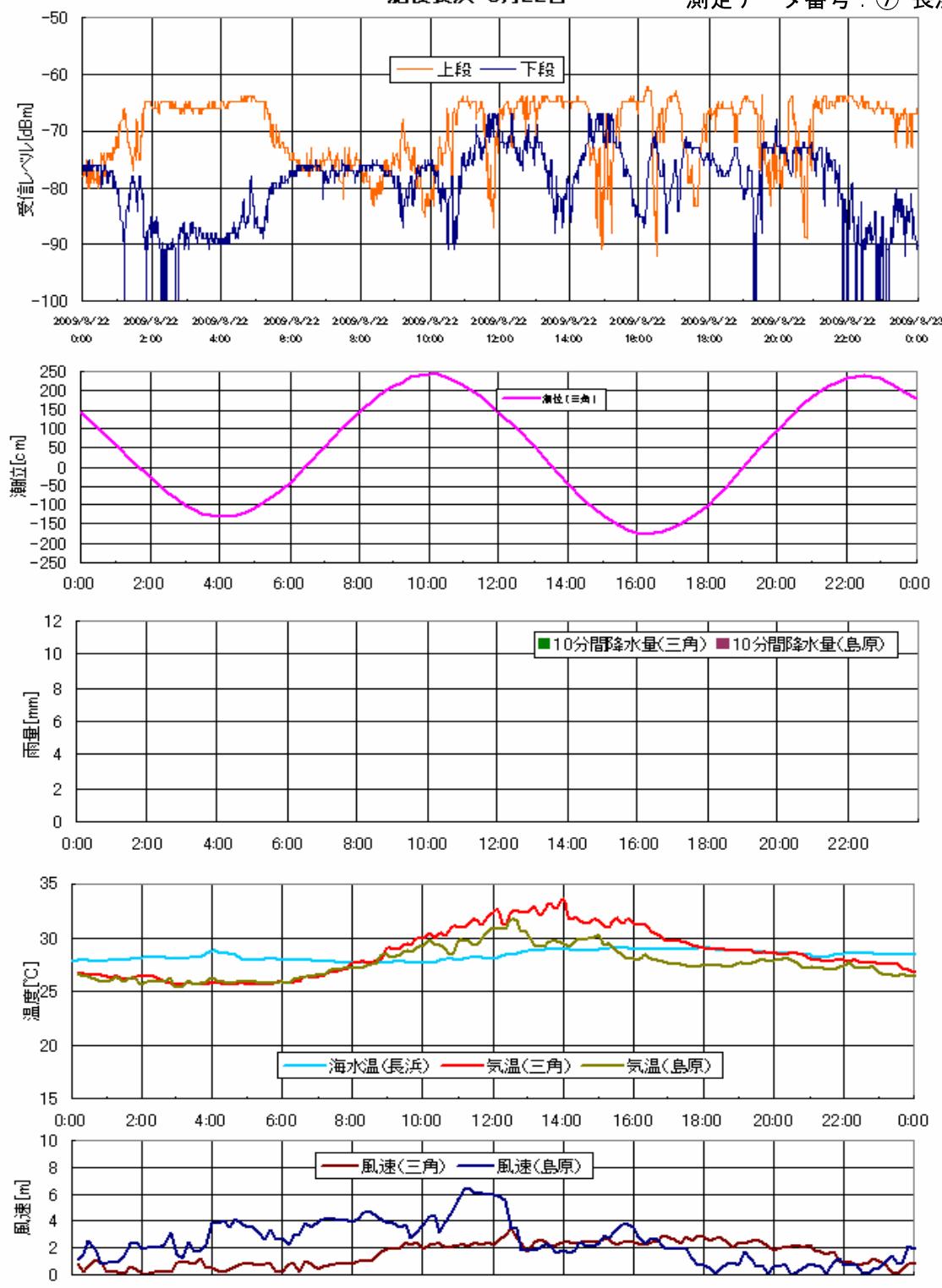
肥後長浜 8月21日

測定データ番号：⑦-長浜



肥後長浜 8月22日

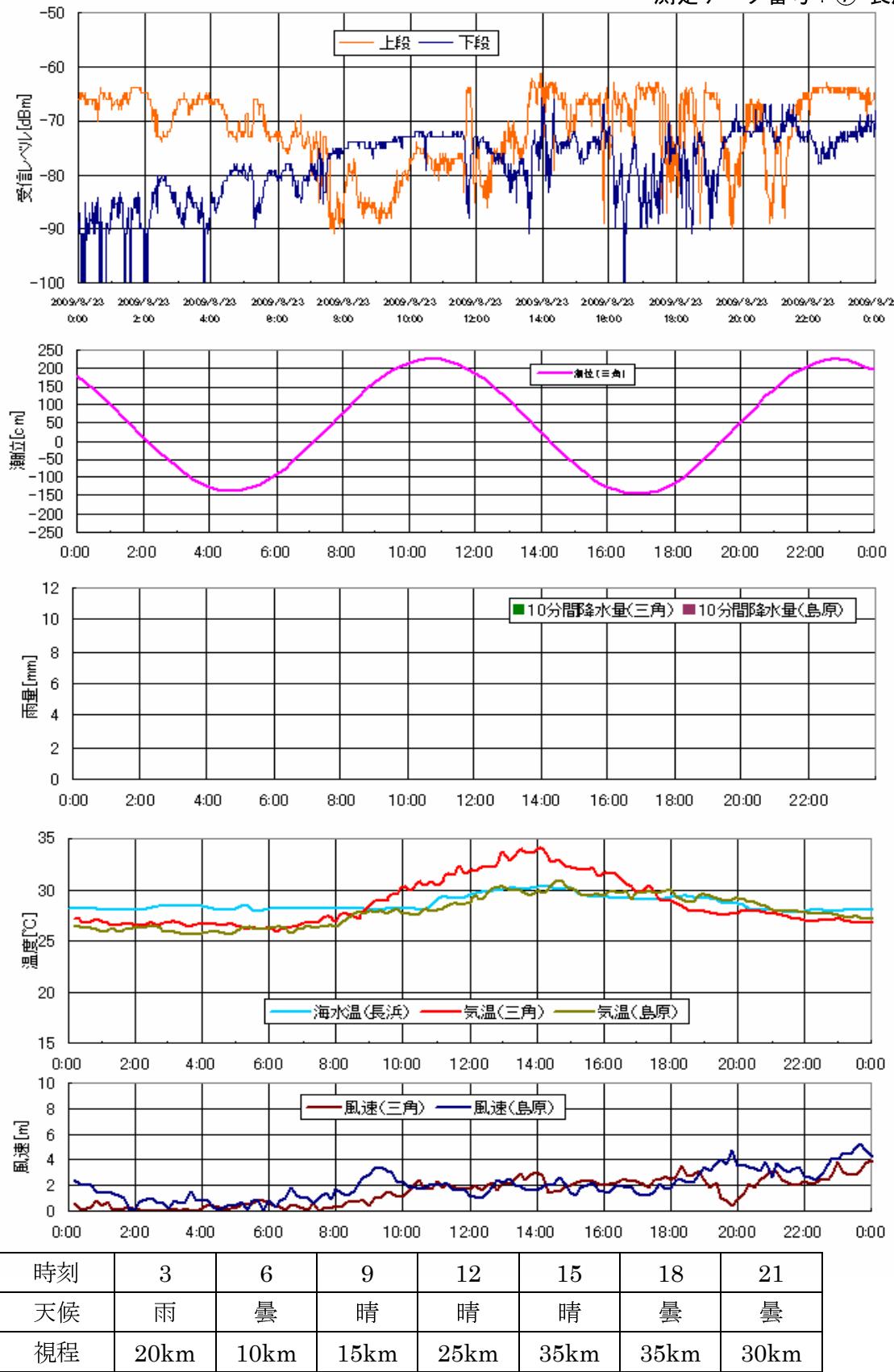
測定データ番号：⑦-長浜



時刻	3	6	9	12	15	18	21
天候	曇	曇	薄曇	薄曇	曇	曇	曇
視程	20km	20km	20km	25km	25km	25km	25km

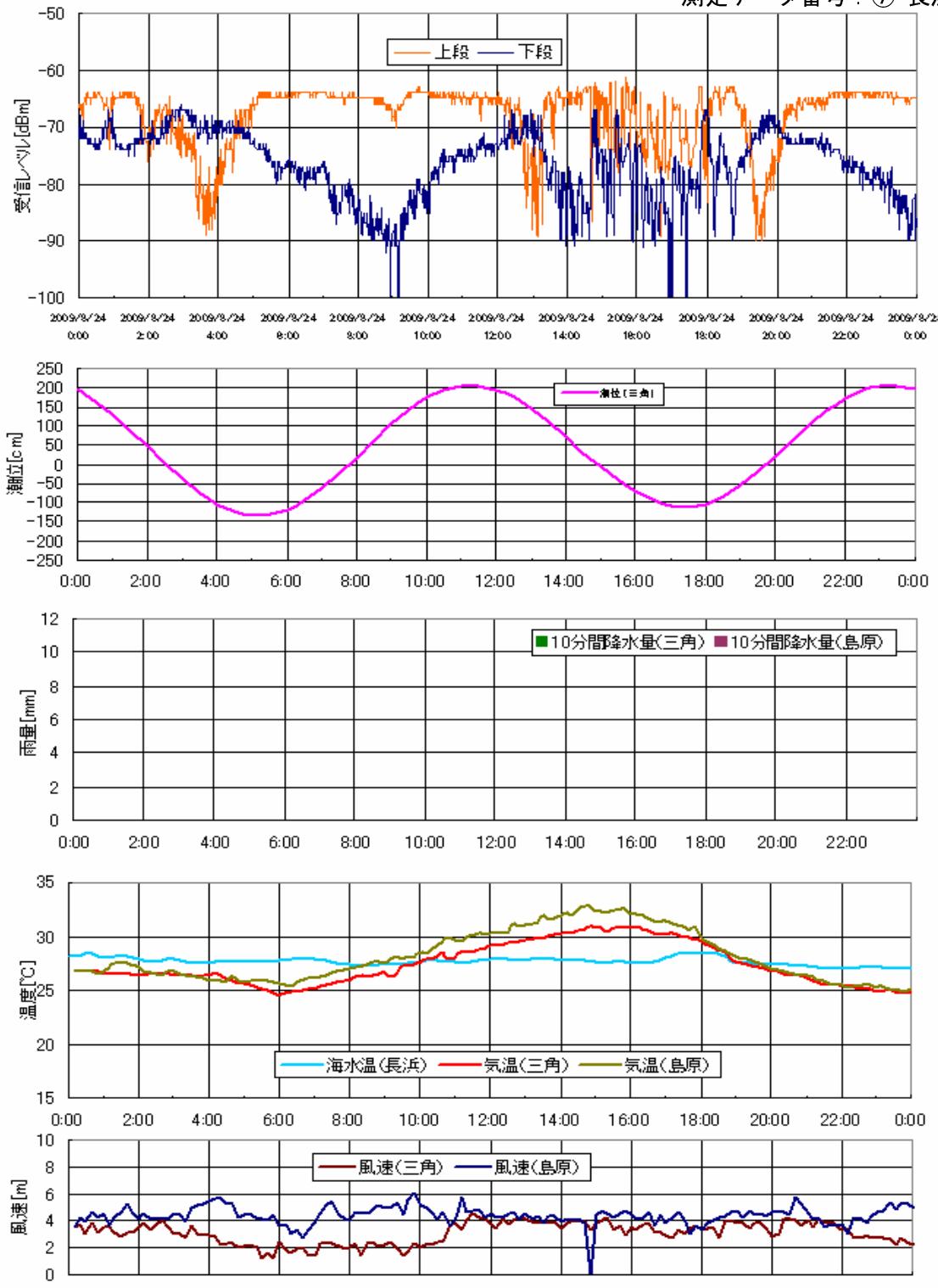
肥後長浜 8月23日

測定データ番号：⑦-長浜



肥後長浜 8月24日

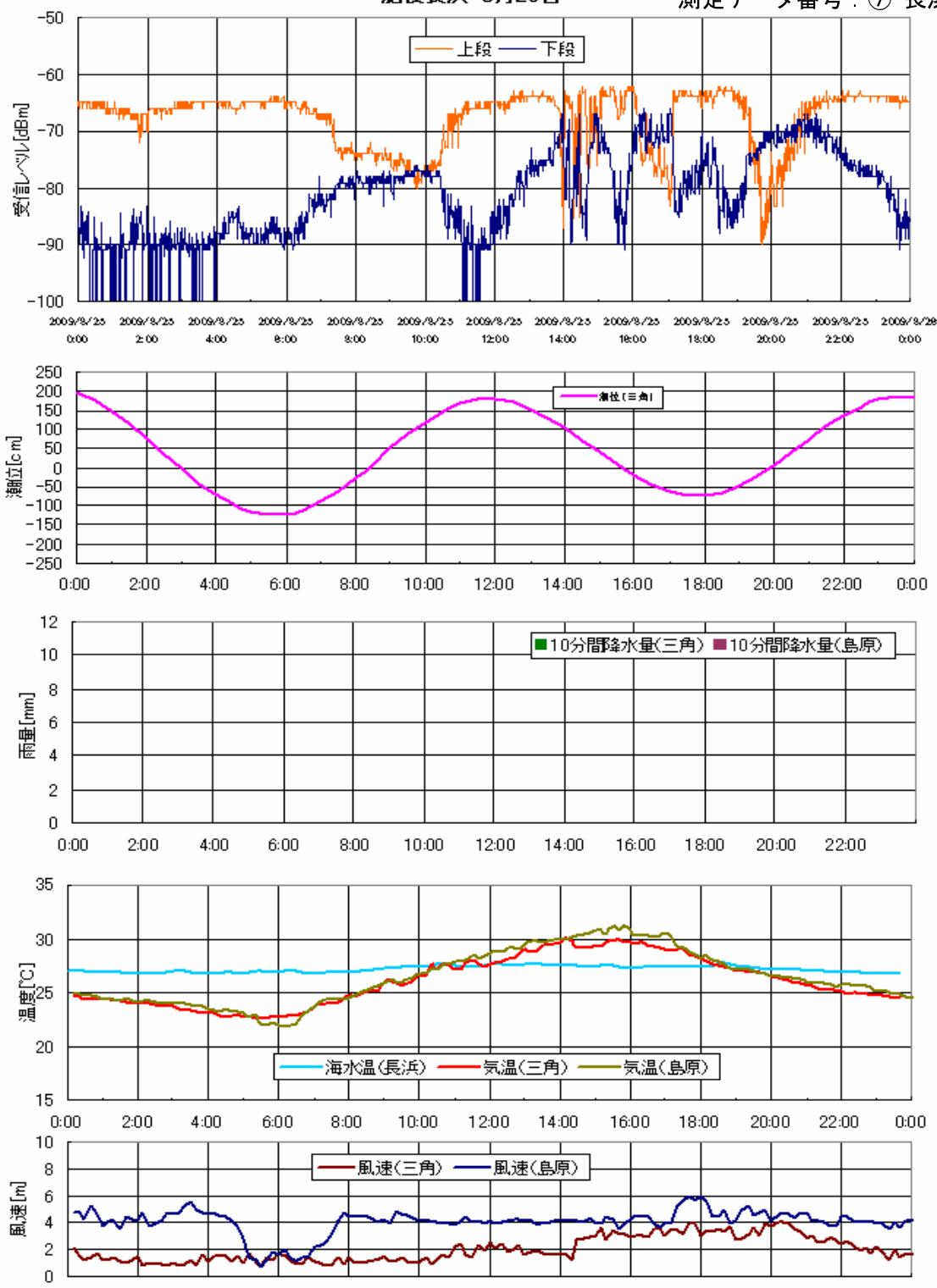
測定データ番号：⑦-長浜



時刻	3	6	9	12	15	18	21
天候	曇	快晴	晴	快晴	晴	晴	晴
視程	30km	30km	40km	40km	50km	30km	30km

肥後長浜 8月25日

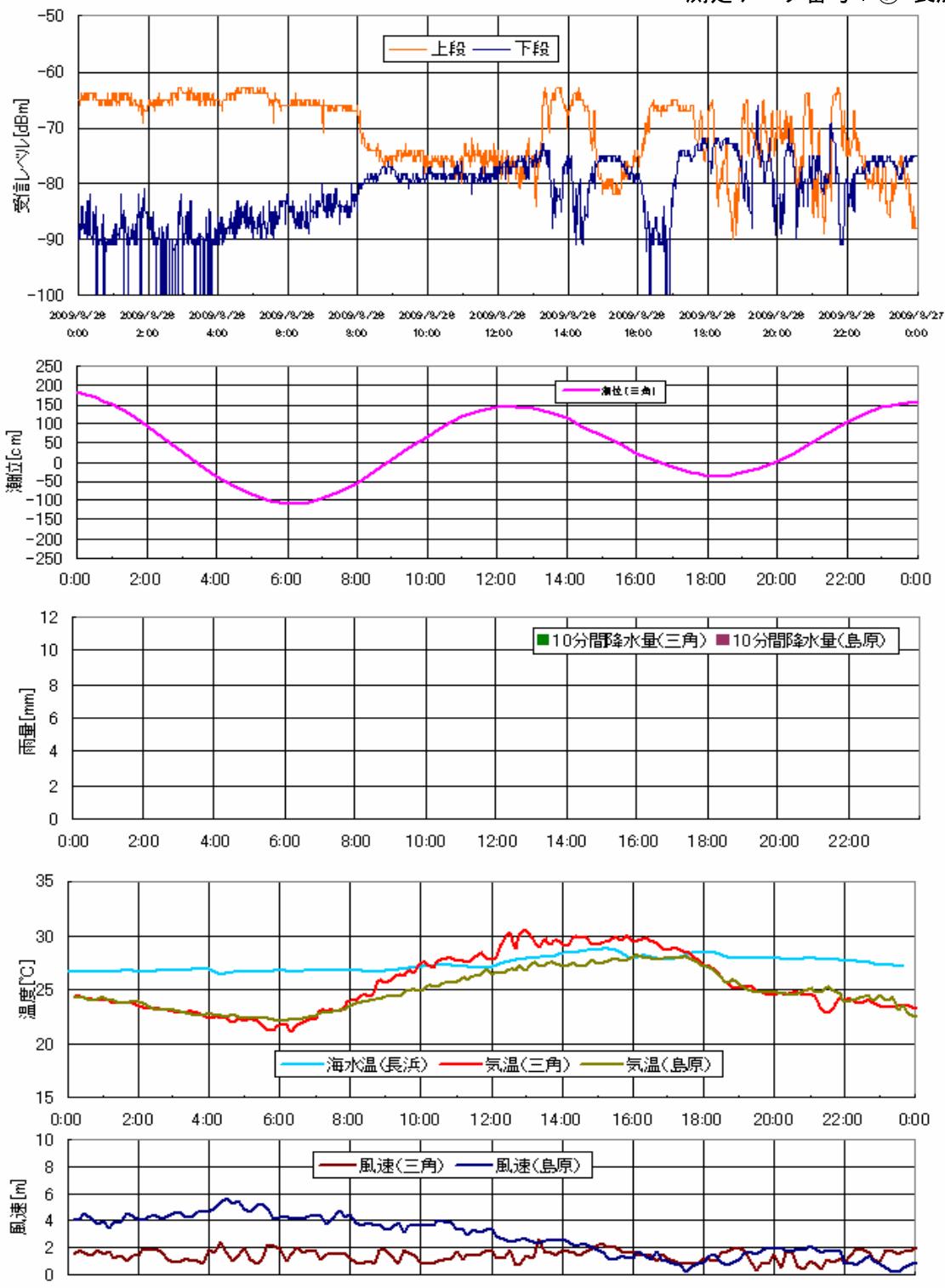
測定データ番号 : ⑦-長浜



時刻	3	6	9	12	15	18	21
天候	快晴	快晴	快晴	晴	晴	曇	晴
視程	30km	30km	20km	25km	25km	30km	30km

肥後長浜 8月26日

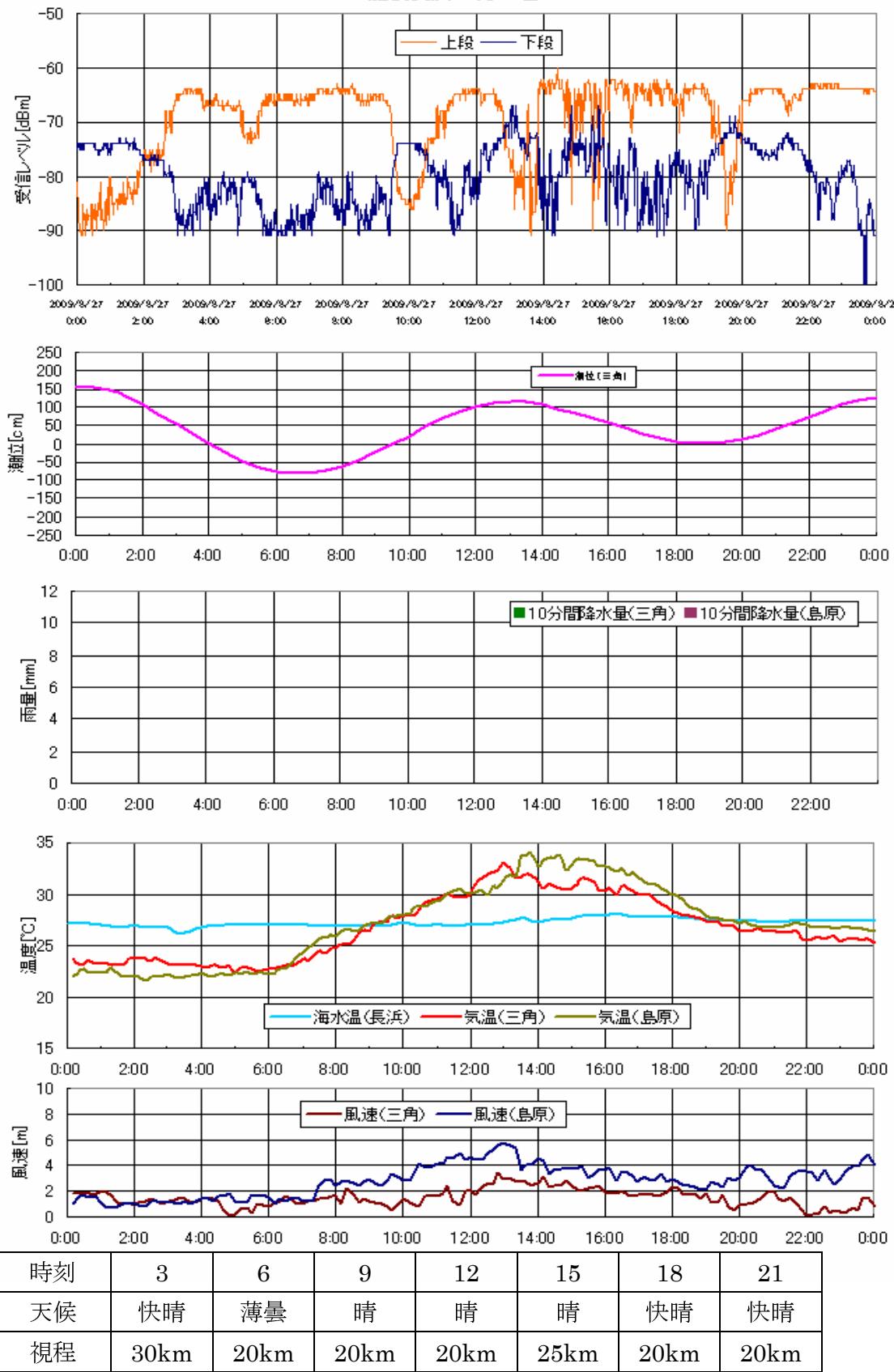
測定データ番号：⑦-長浜



時刻	3	6	9	12	15	18	21
天候	快晴						
視程	30km	40km	40km	50km	50km	40km	30km

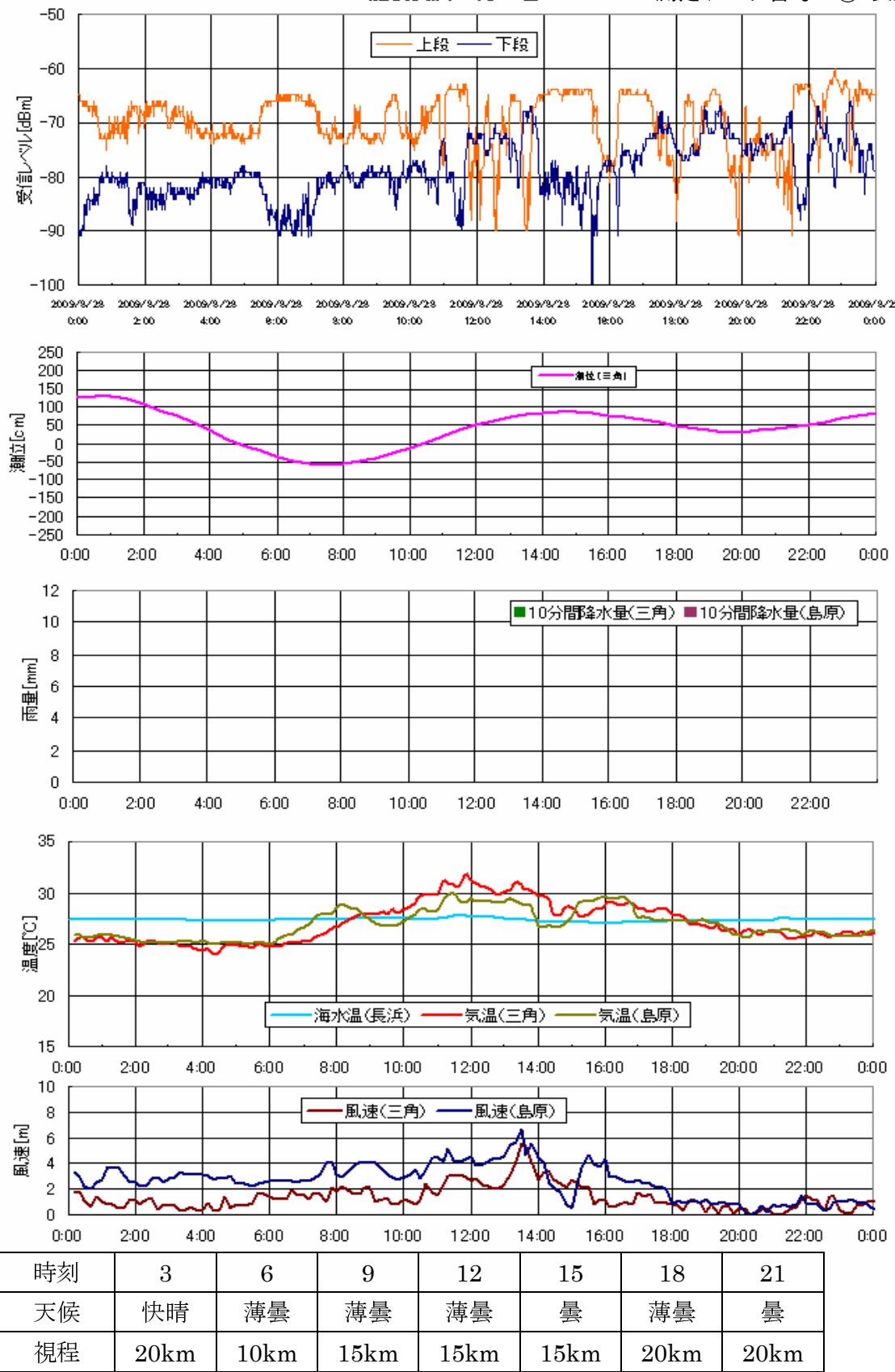
肥後長浜 8月27日

測定データ番号：⑦-長浜



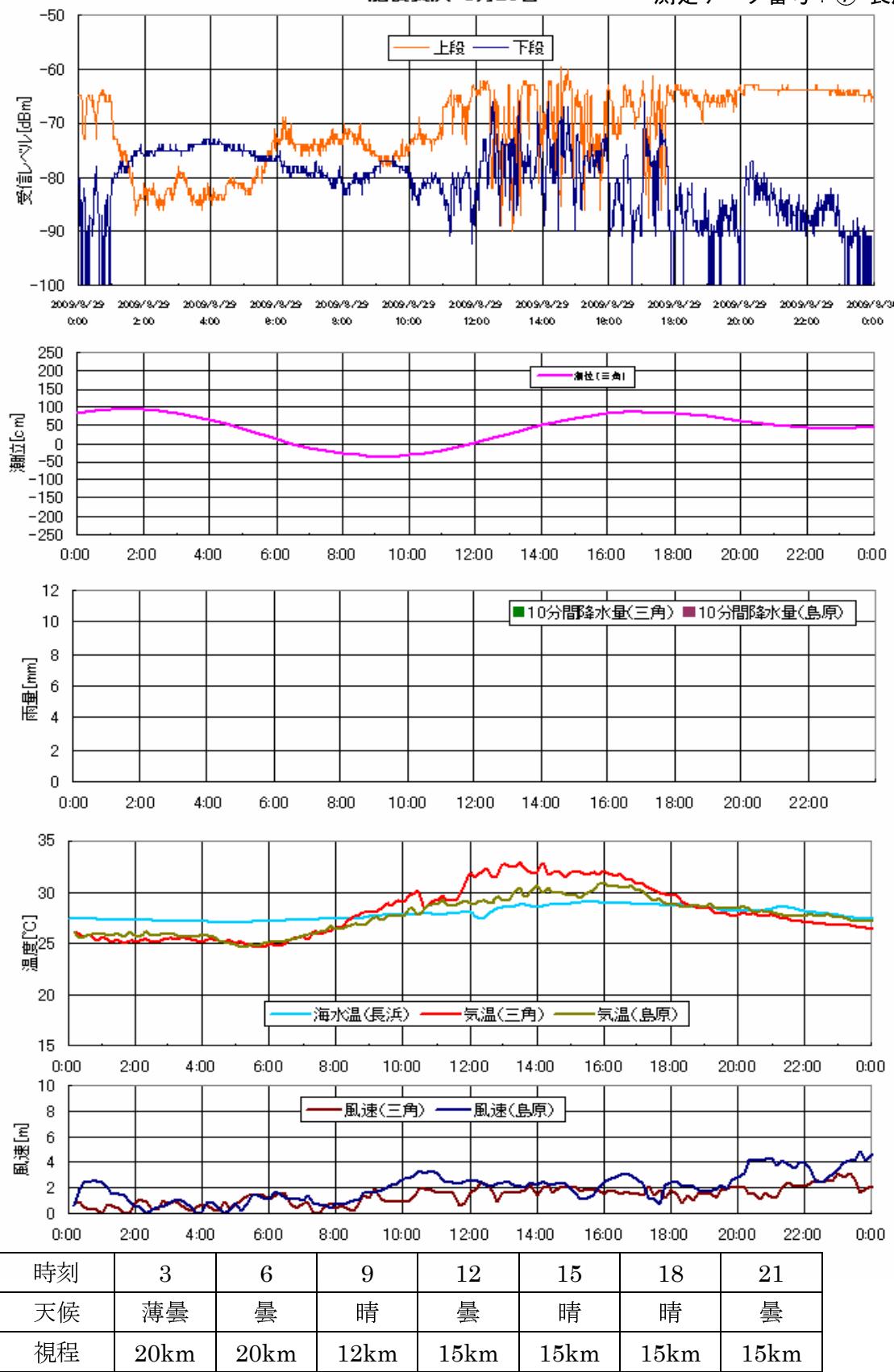
肥後長浜 8月28日

測定データ番号 : ⑦-長浜



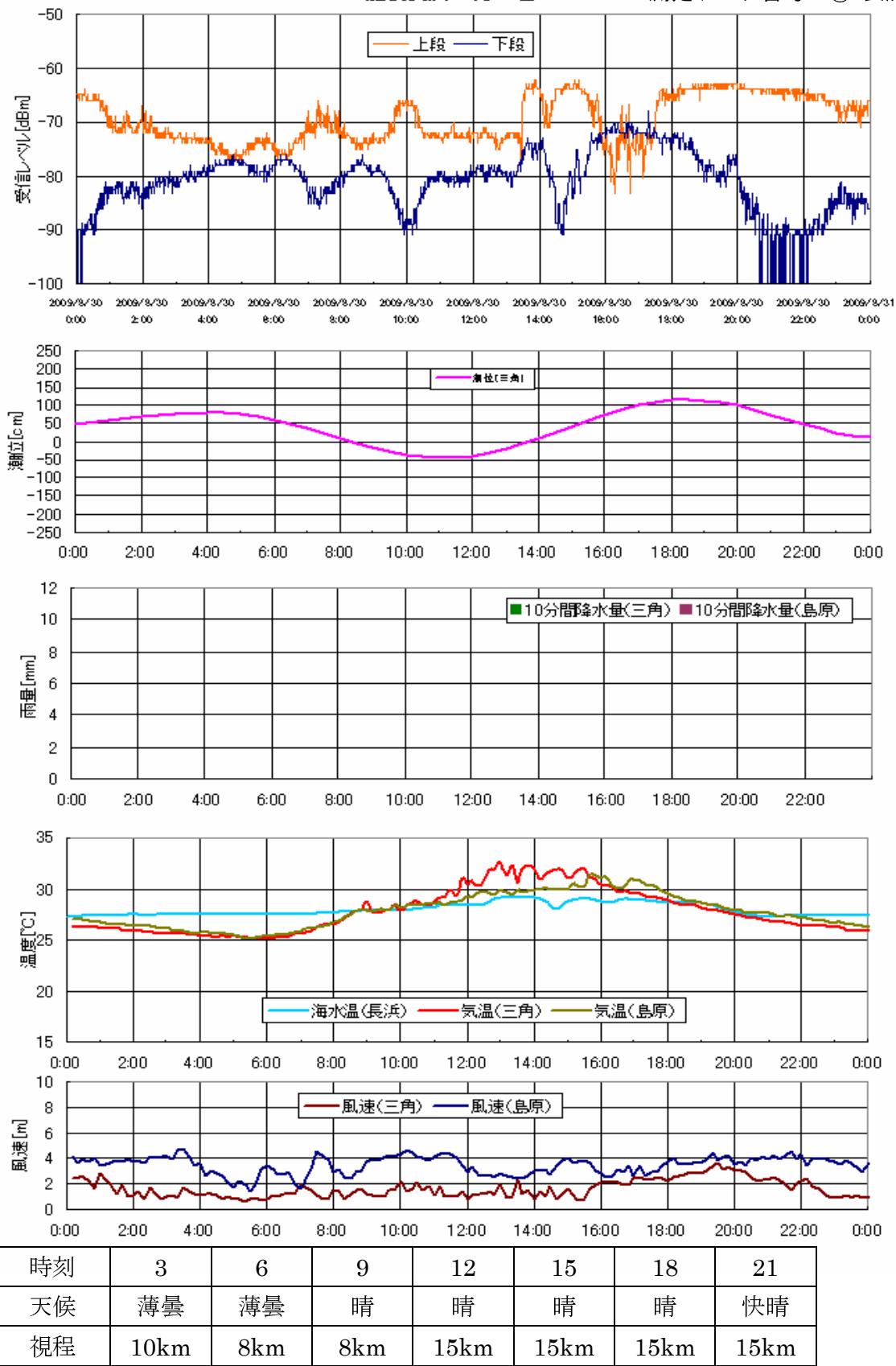
肥後長浜 8月29日

測定データ番号：⑦-長浜

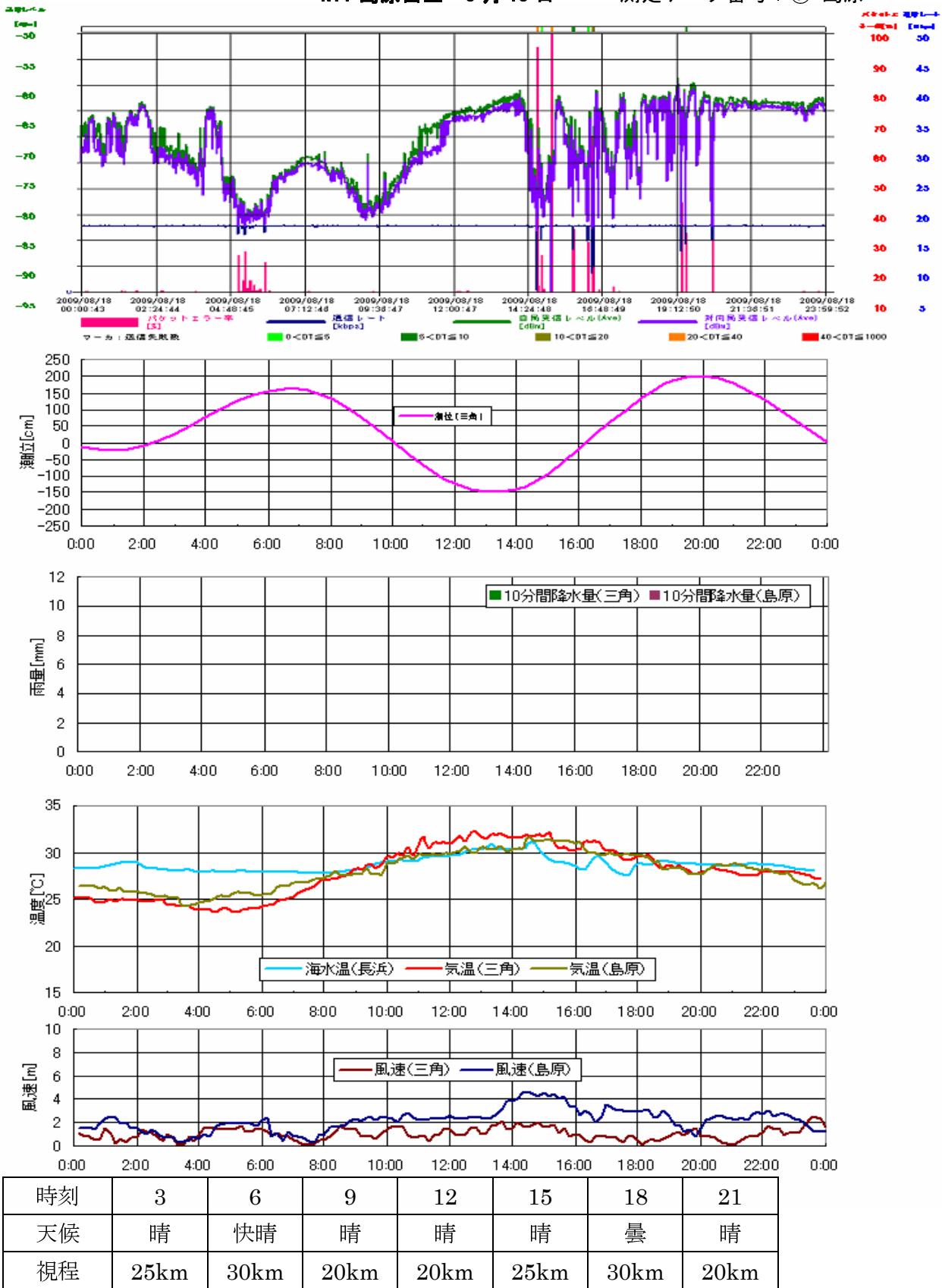


肥後長浜 8月30日

測定データ番号：⑦-長浜

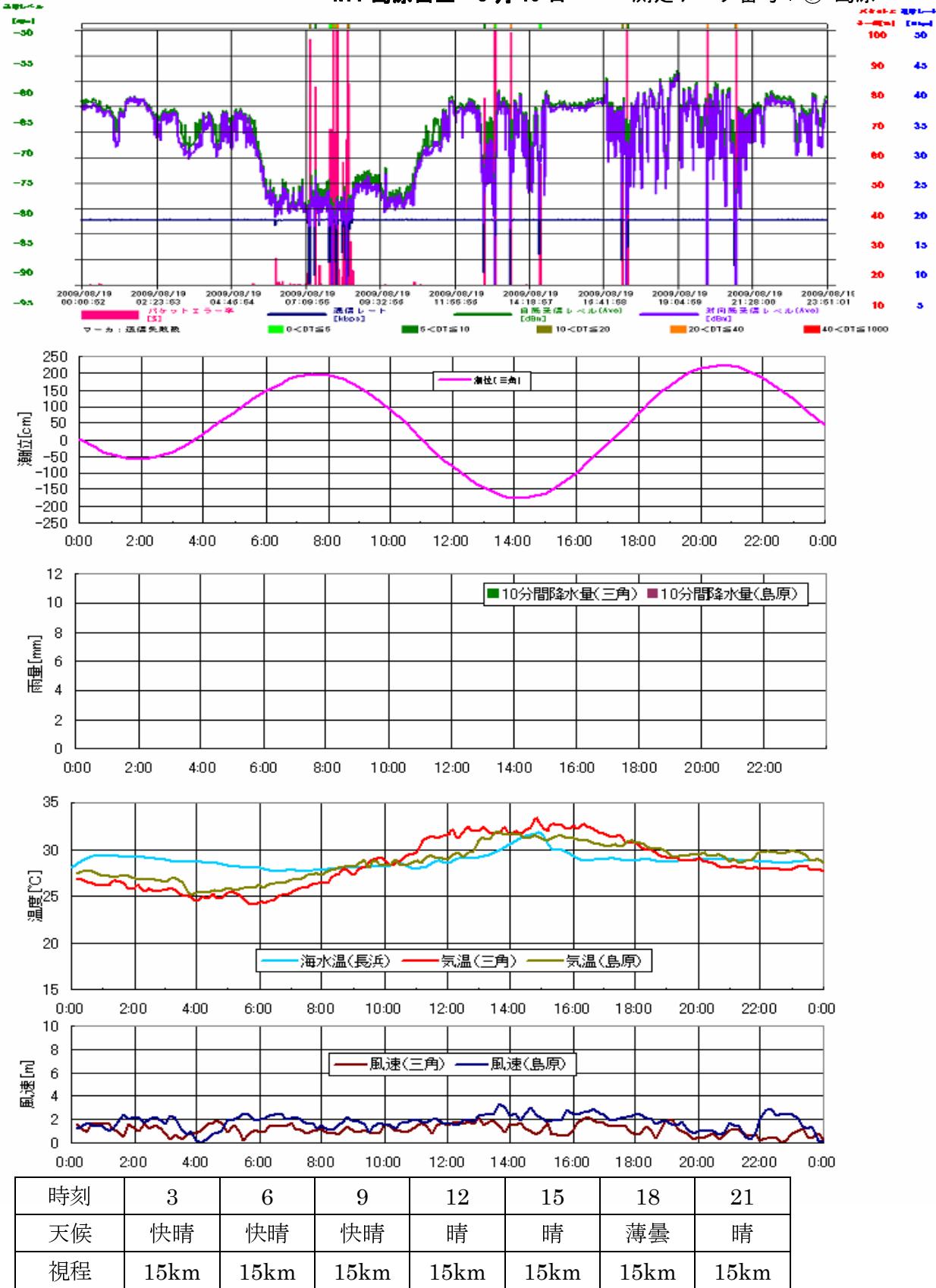


NTT 島原白土 8月18日 測定データ番号：⑦-島原



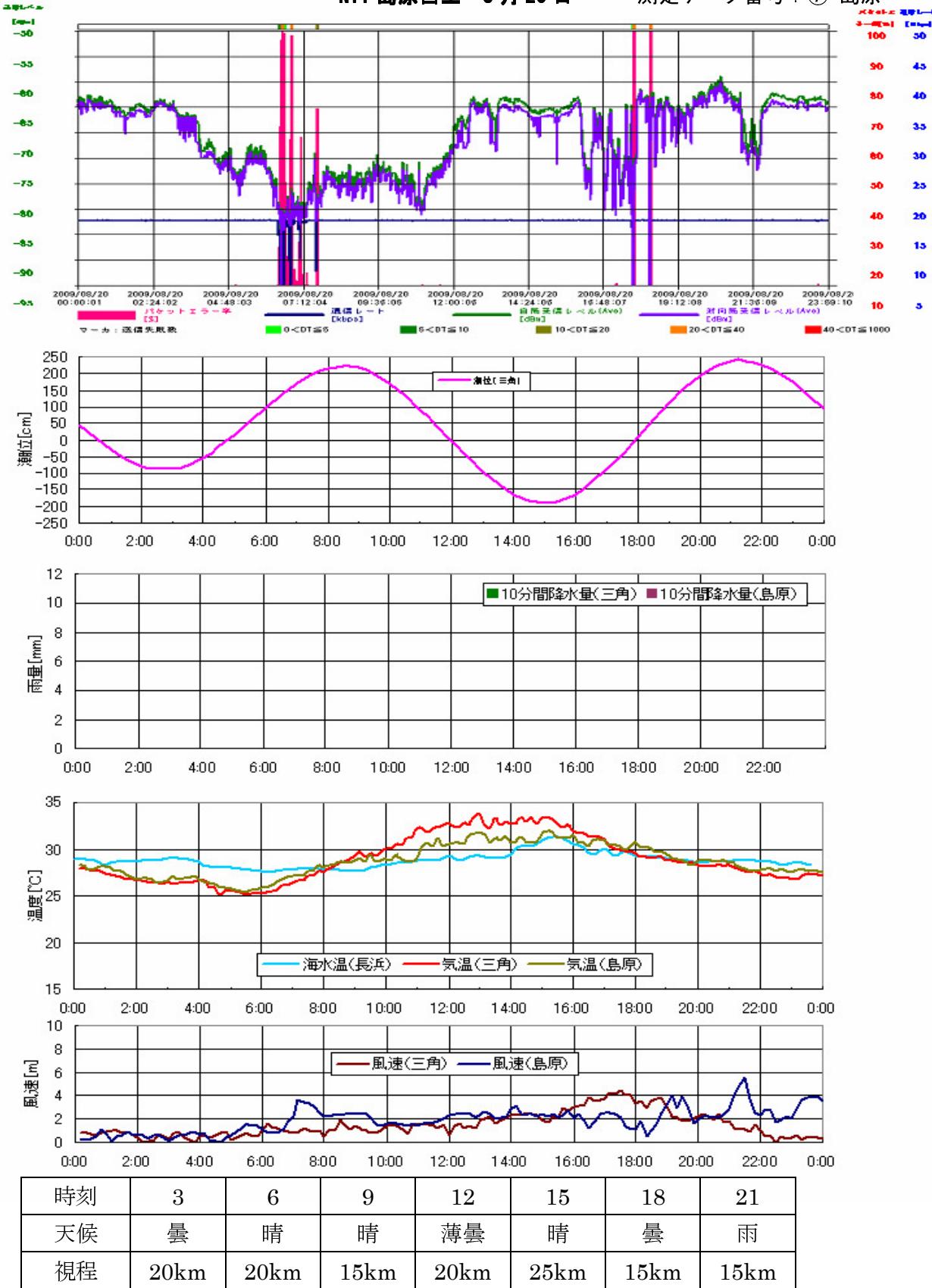
NTT 島原白土 8月19日

測定データ番号 : ⑦-島原



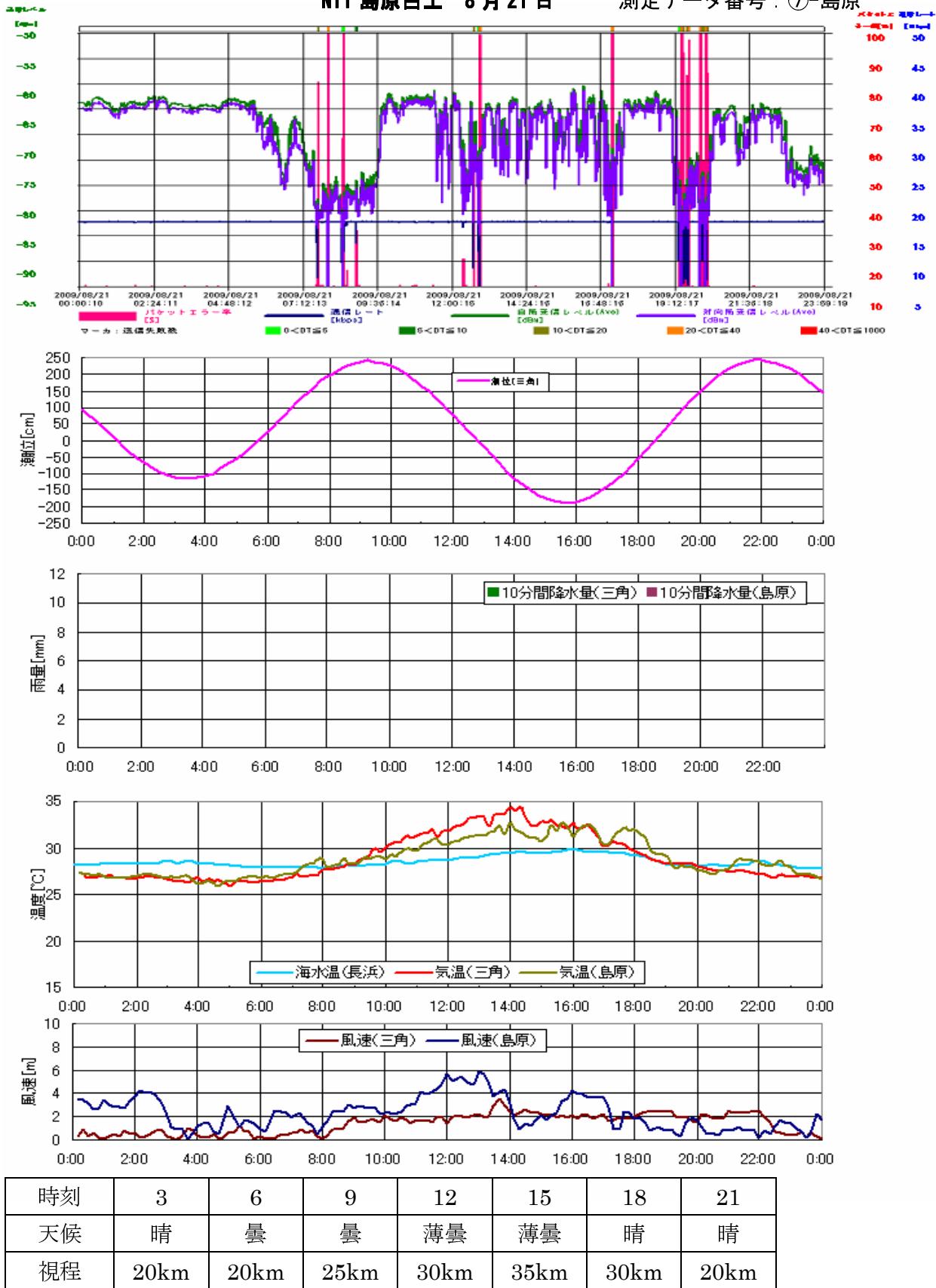
NTT 島原白土 8月20日

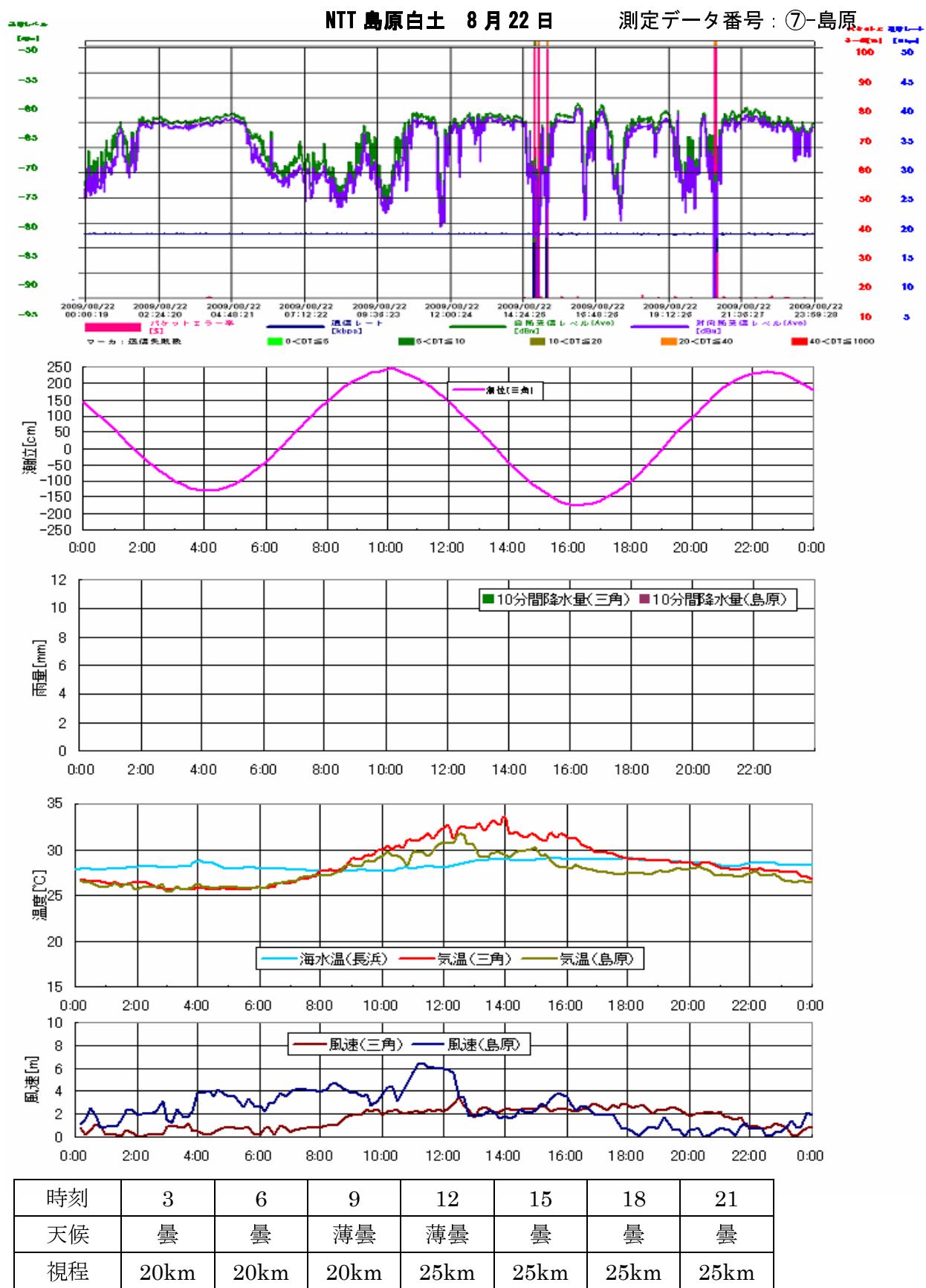
測定データ番号 : ⑦-島原



NTT 島原白土 8月21日

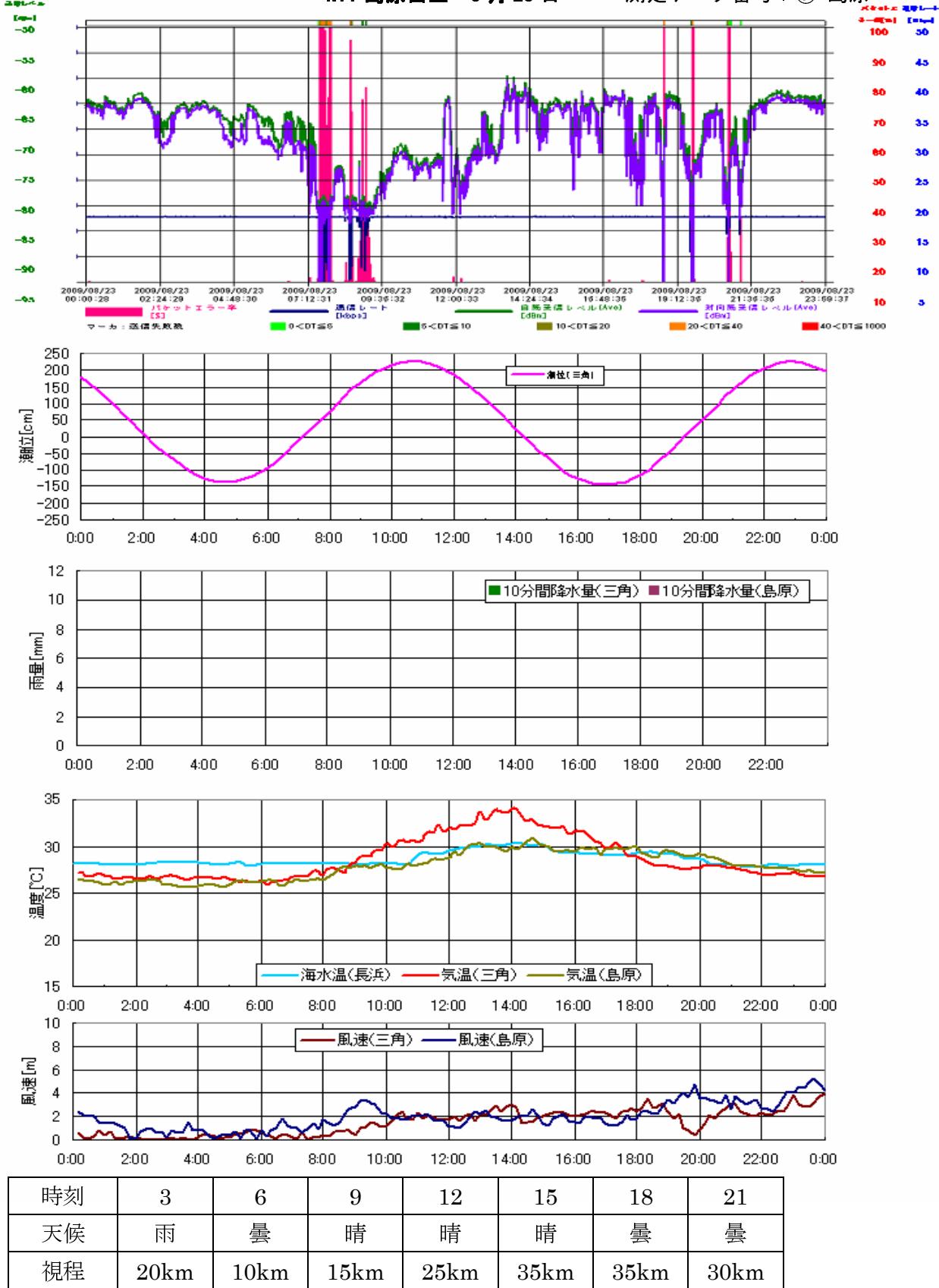
測定データ番号 : ⑦-島原





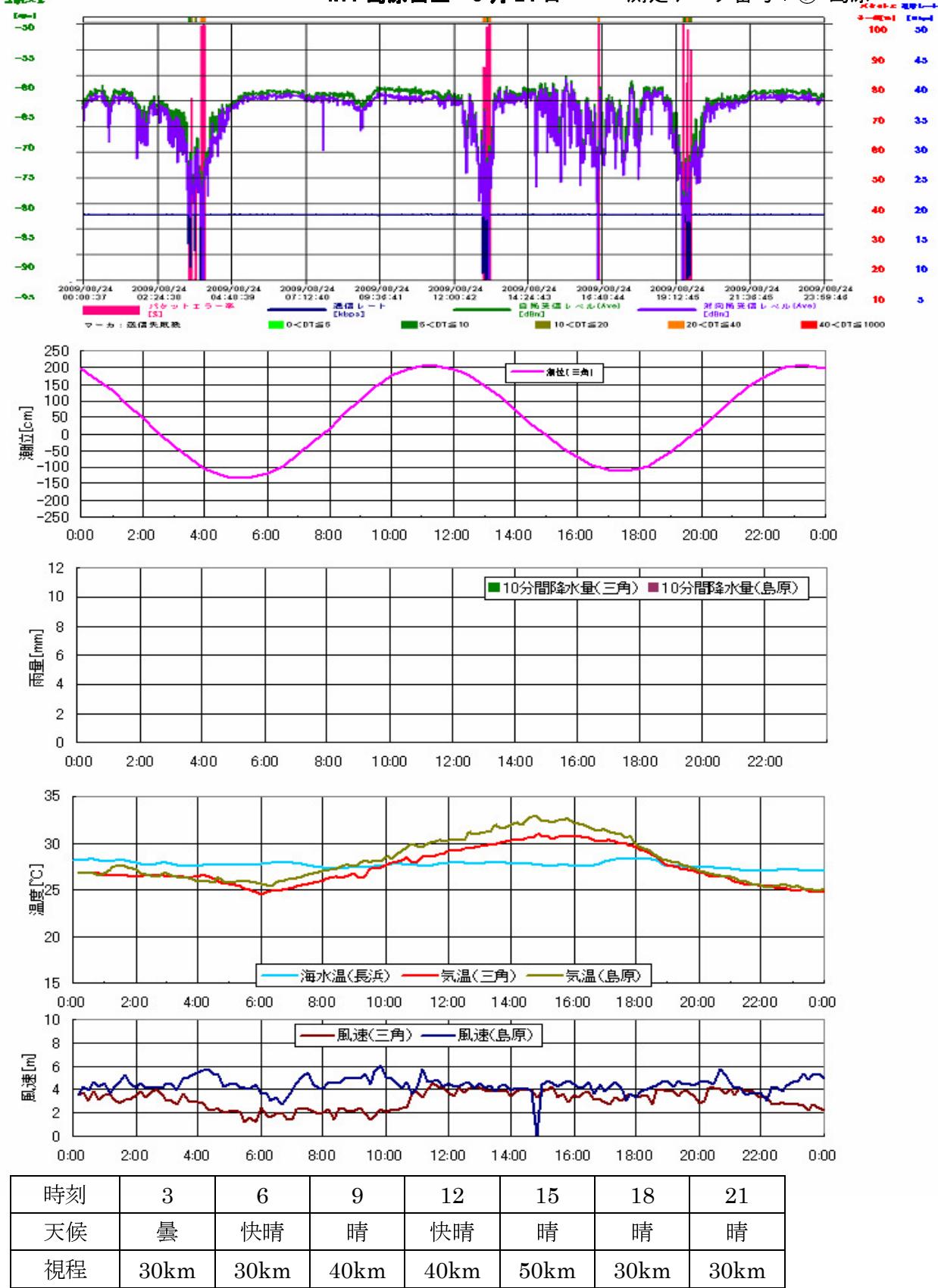
NTT 島原白土 8月23日

測定データ番号 : ⑦-島原

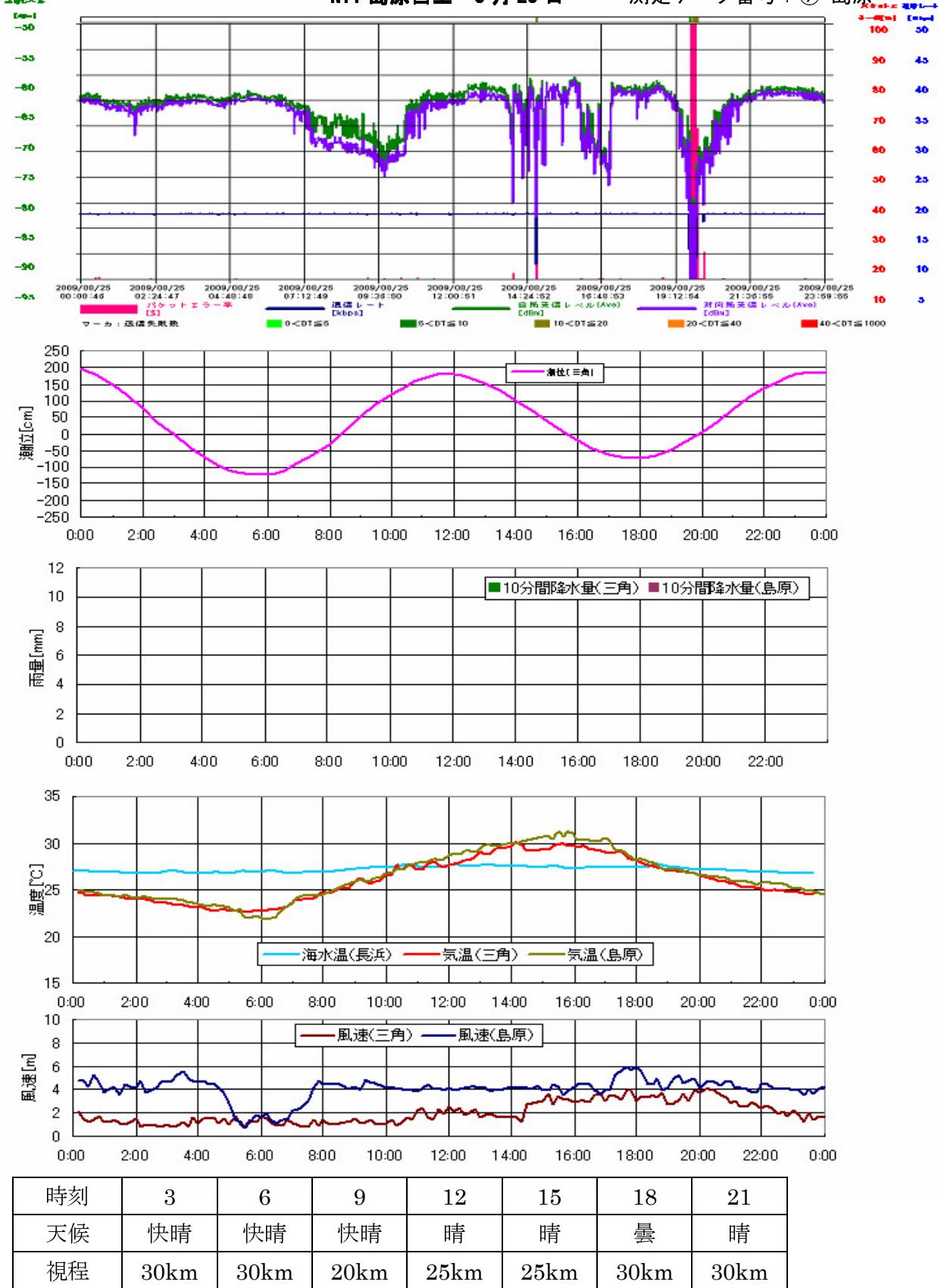


NTT 島原白土 8月24日

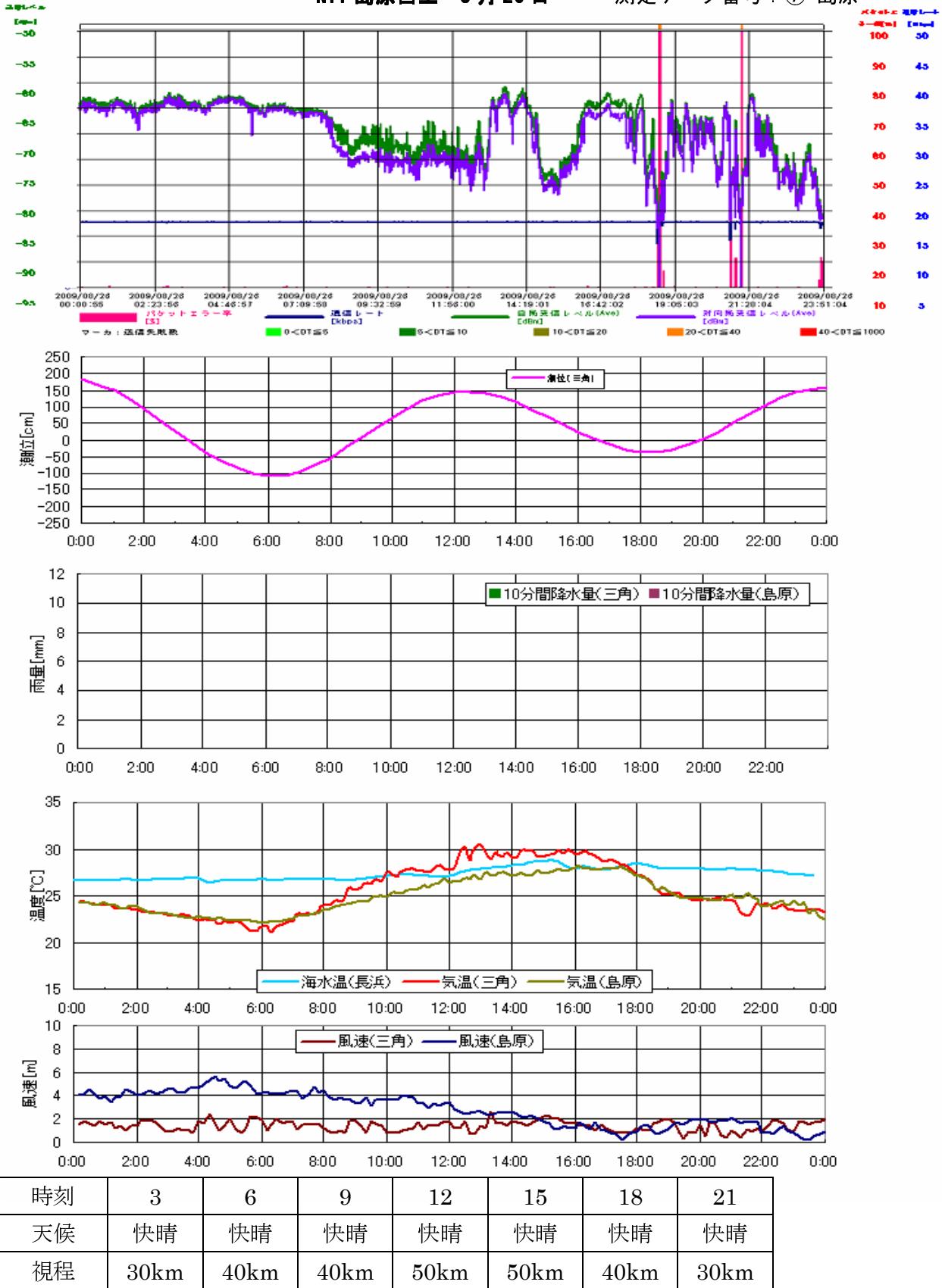
測定データ番号 : ⑦-島原



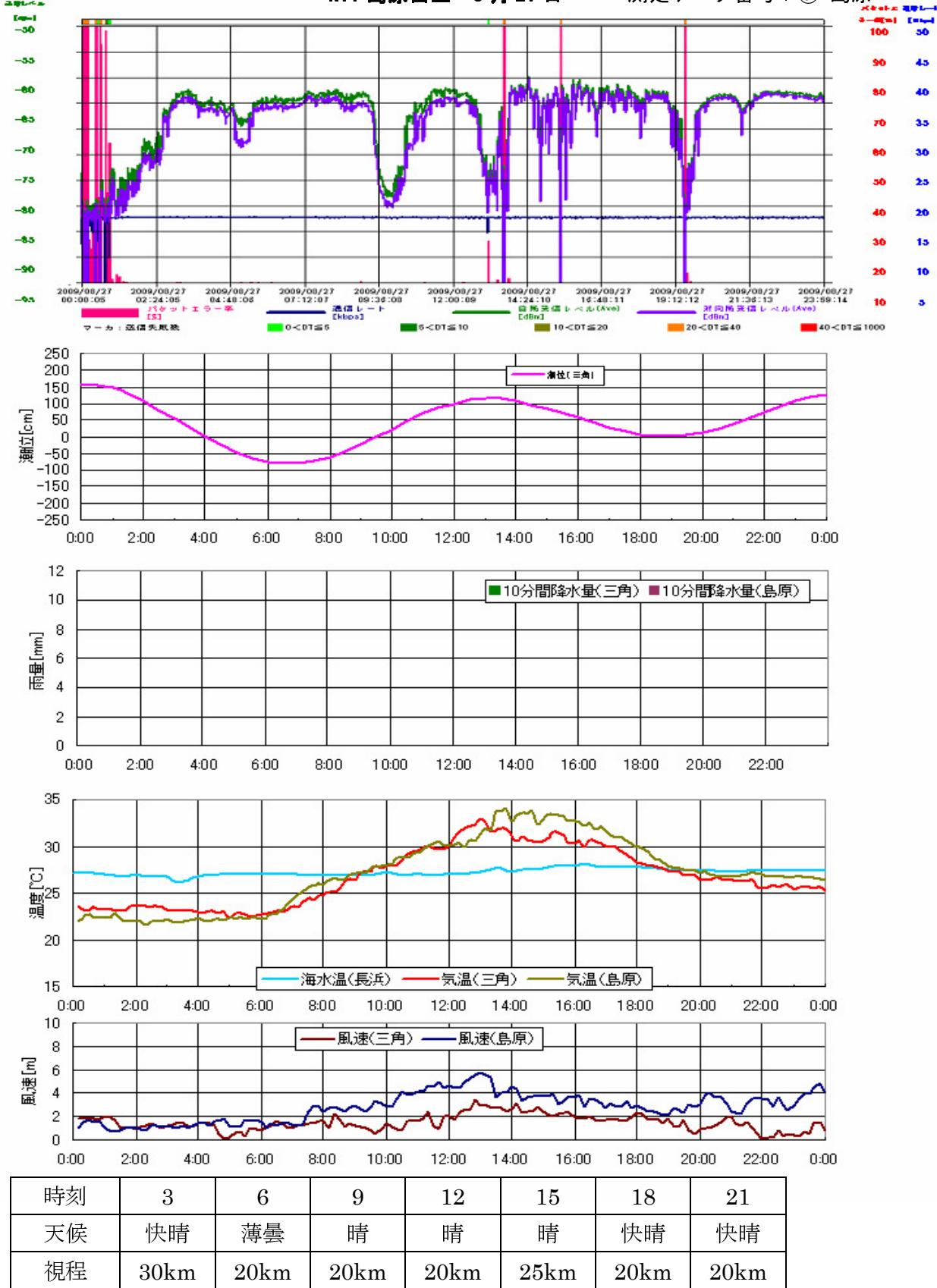
NTT 島原白土 8月25日 測定データ番号：⑦-島原



NTT 島原白土 8月26日 測定データ番号：⑦-島原

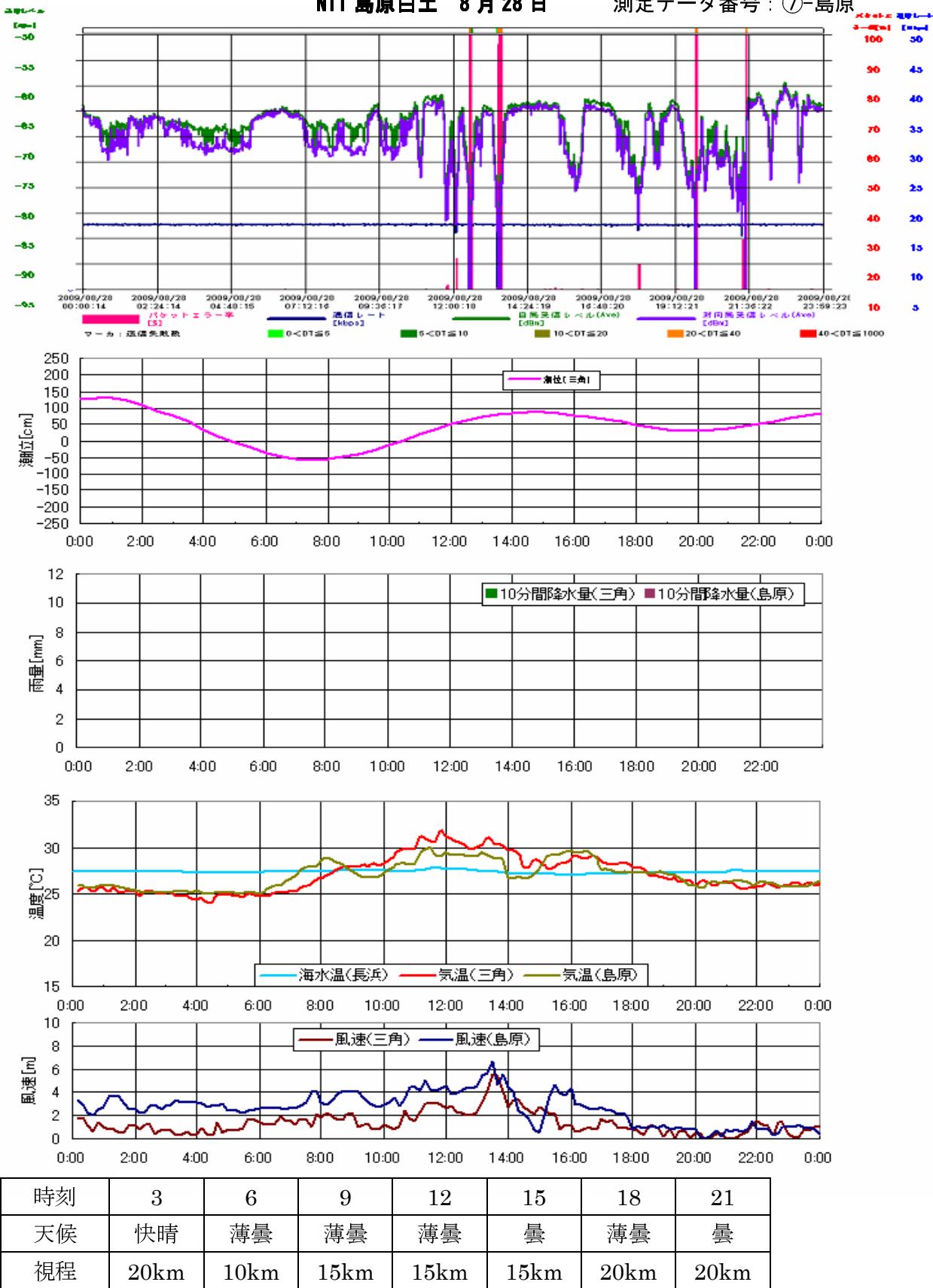


NTT 島原白土 8月27日 測定データ番号：⑦-島原

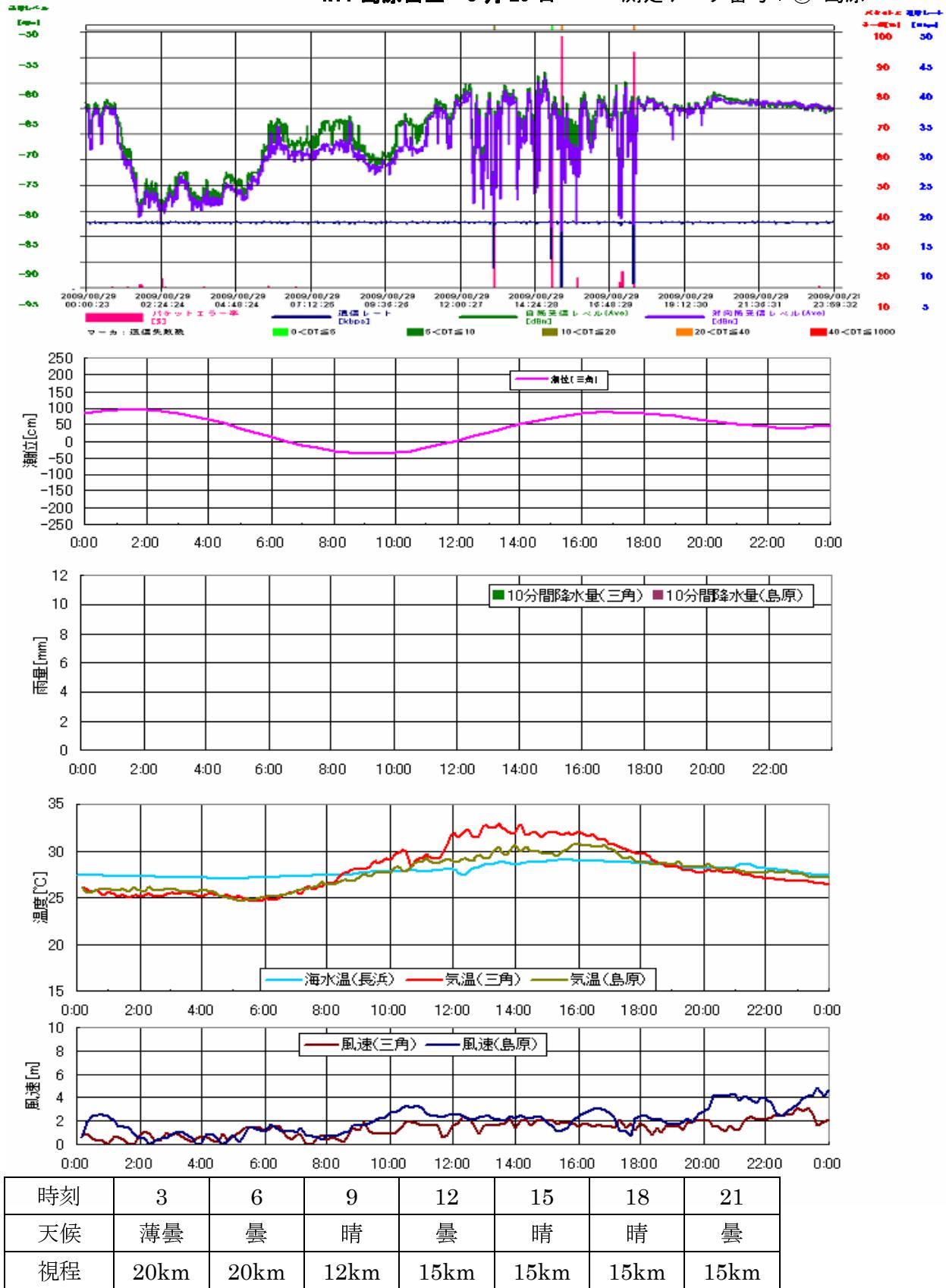


NTT 島原白土 8月28日

測定データ番号 : ⑦-島原

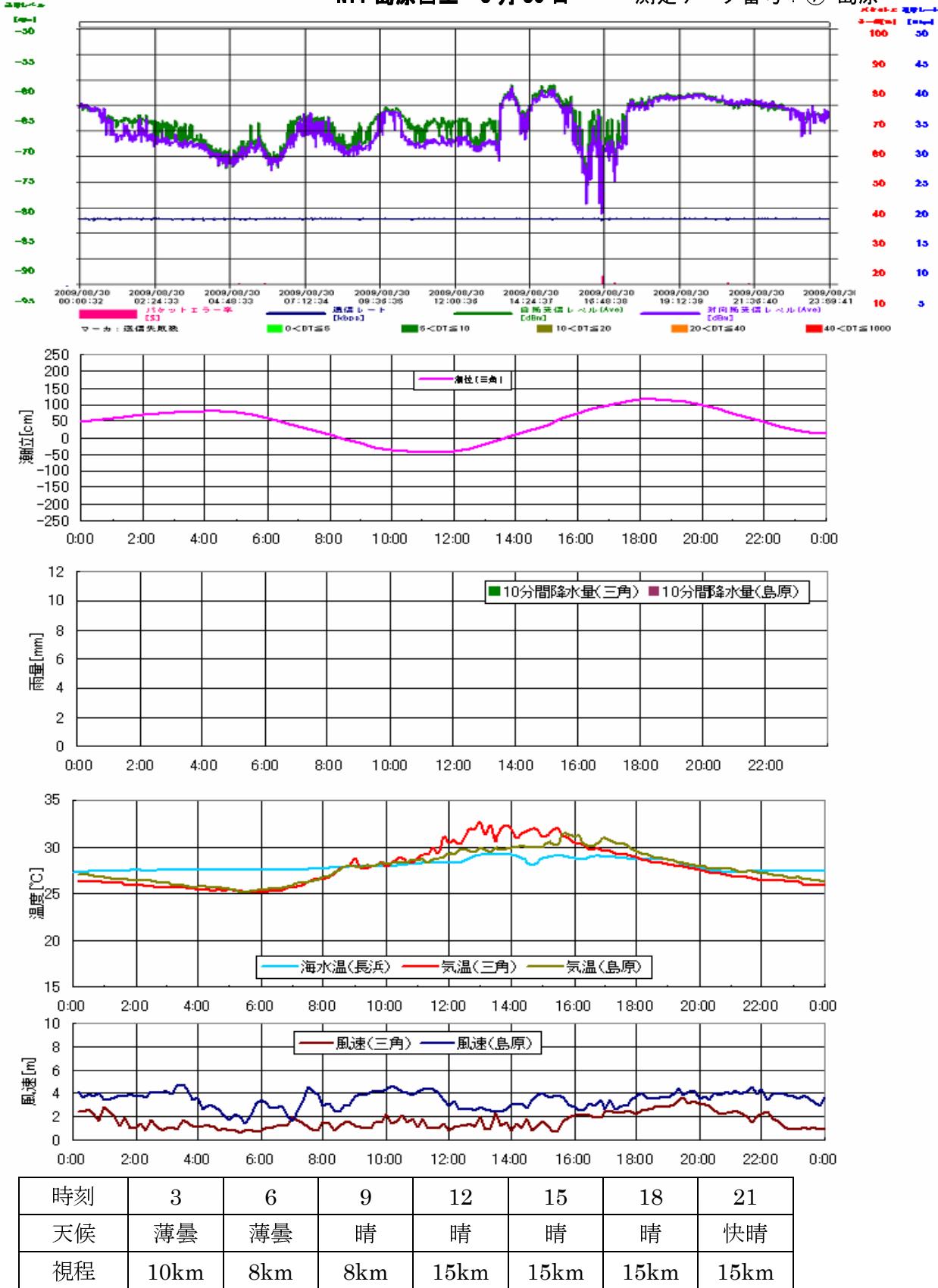


NTT 島原白土 8月29日 測定データ番号：⑦-島原



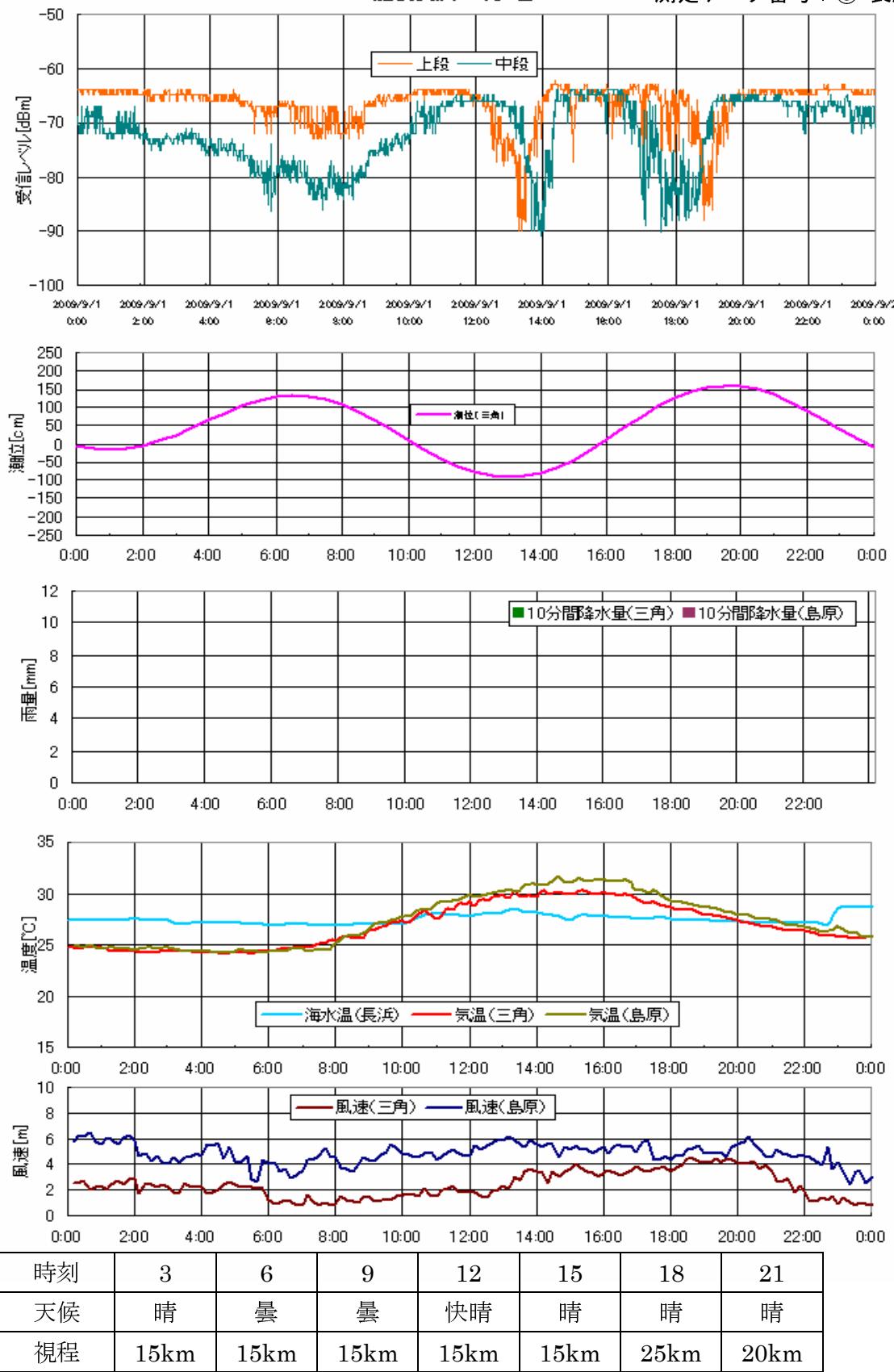
NTT 島原白土 8月30日

測定データ番号 : ⑦-島原



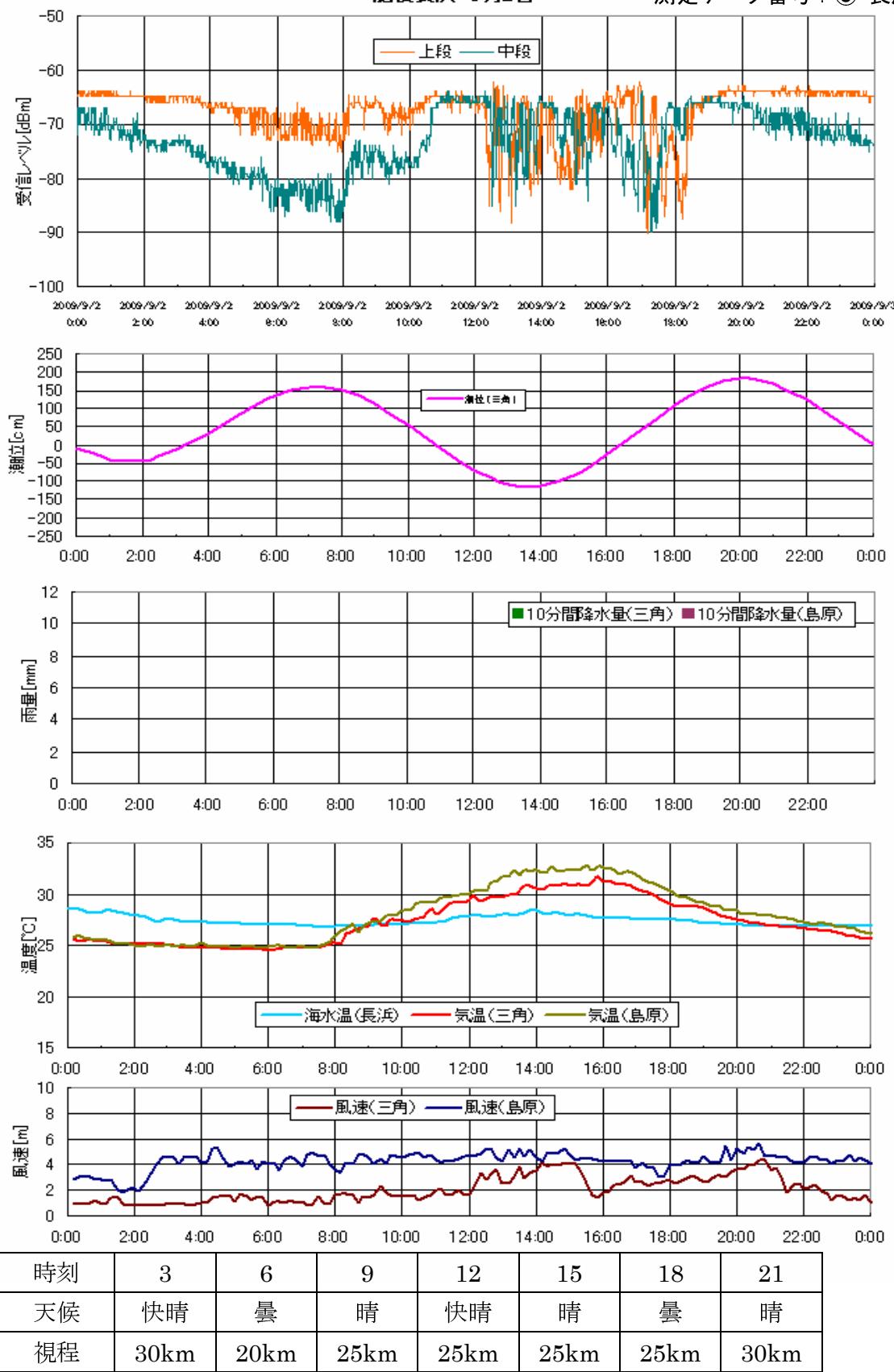
肥後長浜 9月1日

測定データ番号：⑧-長浜



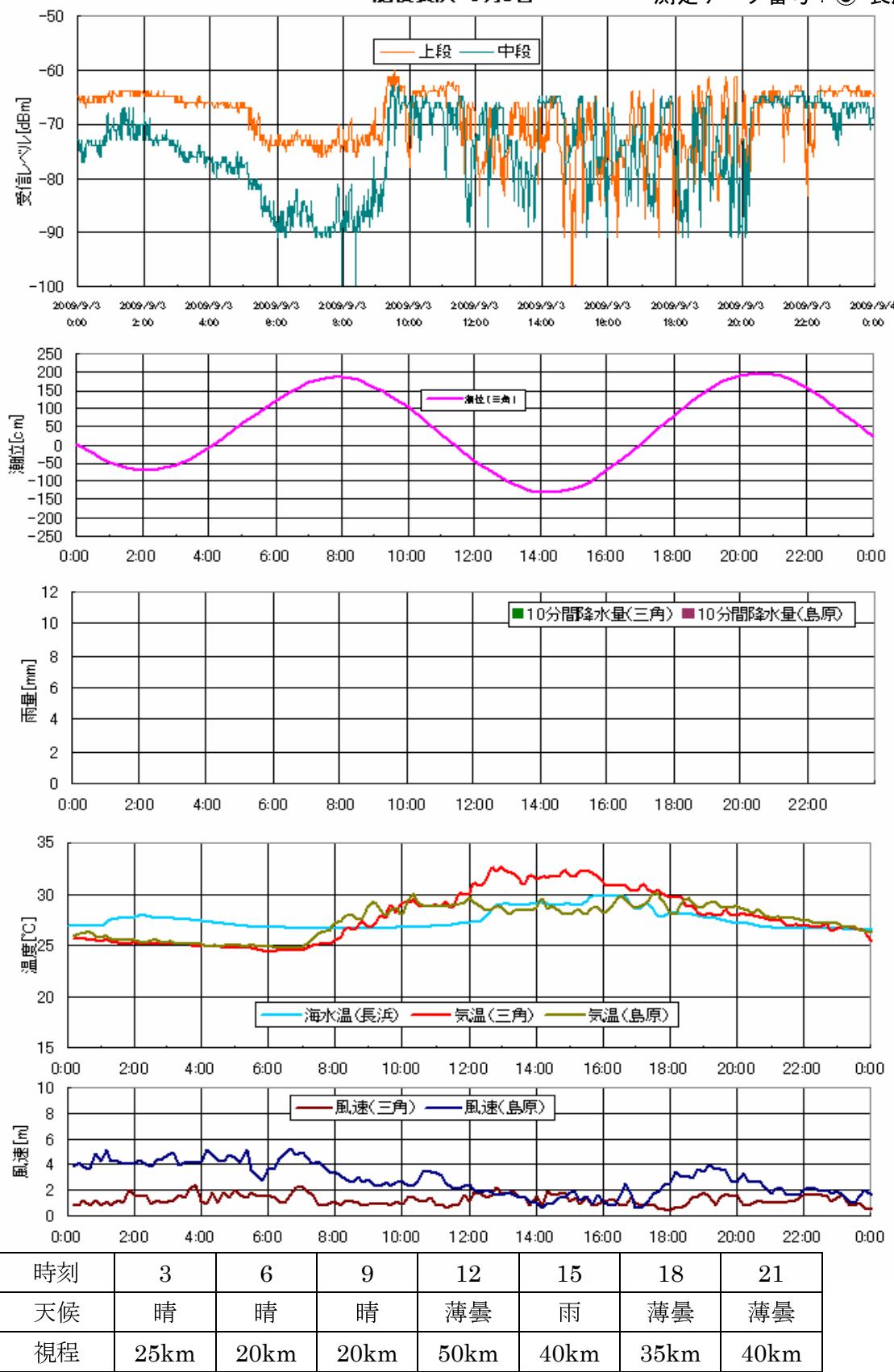
肥後長浜 9月2日

測定データ番号：⑧-長浜



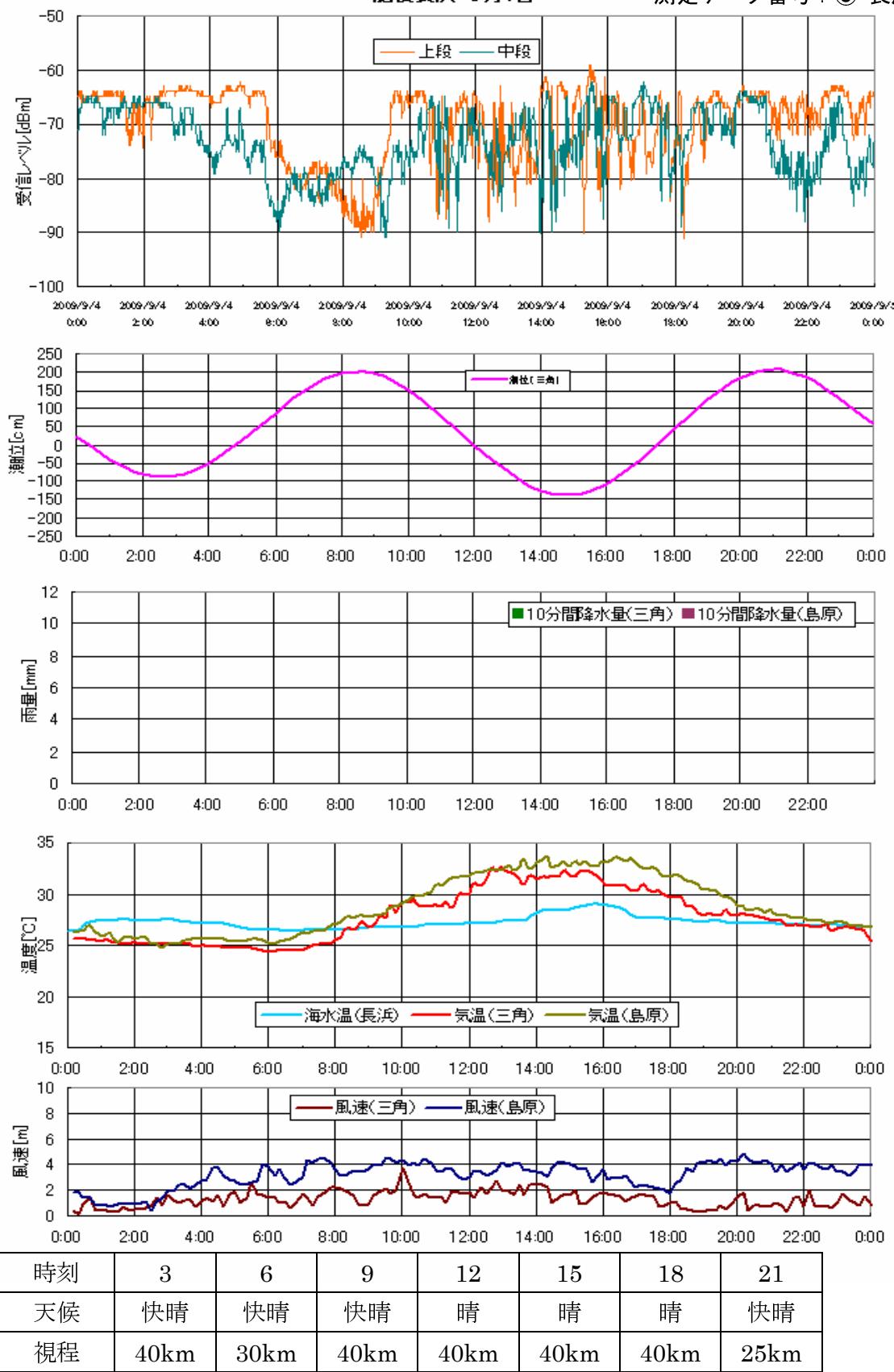
肥後長浜 9月3日

測定データ番号：⑧-長浜



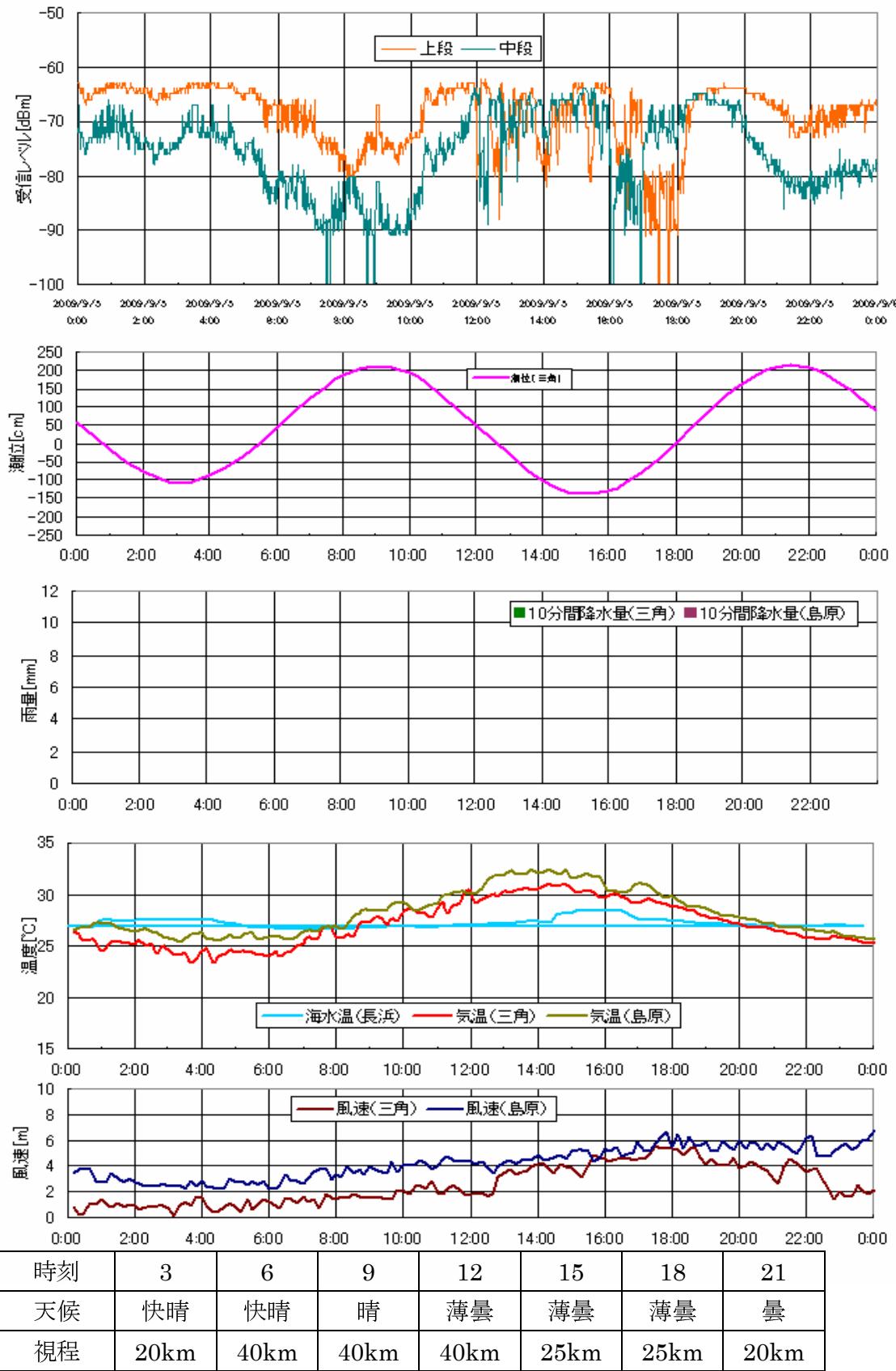
肥後長浜 9月4日

測定データ番号：⑧-長浜



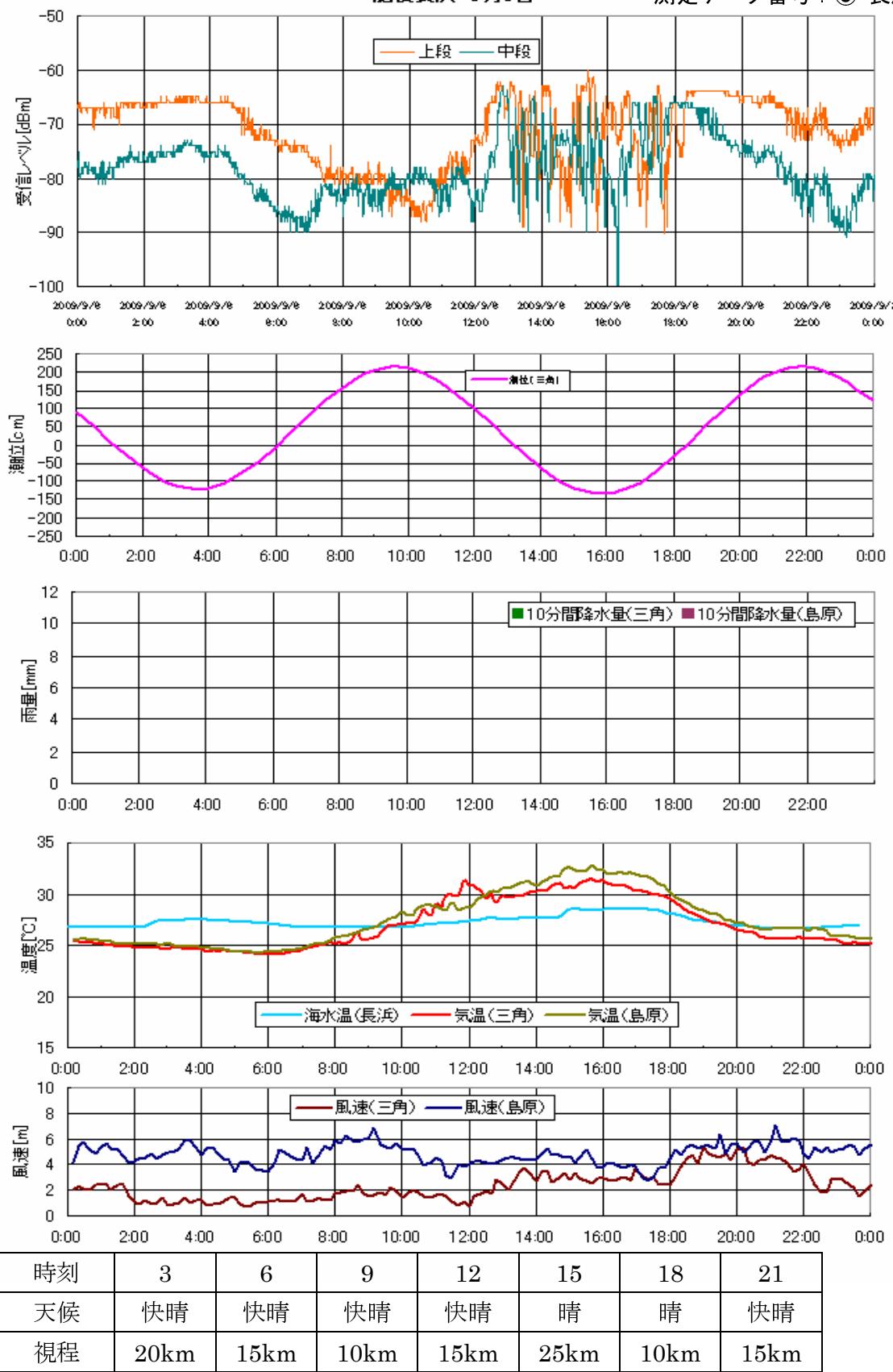
肥後長浜 9月5日

測定データ番号：⑧-長浜



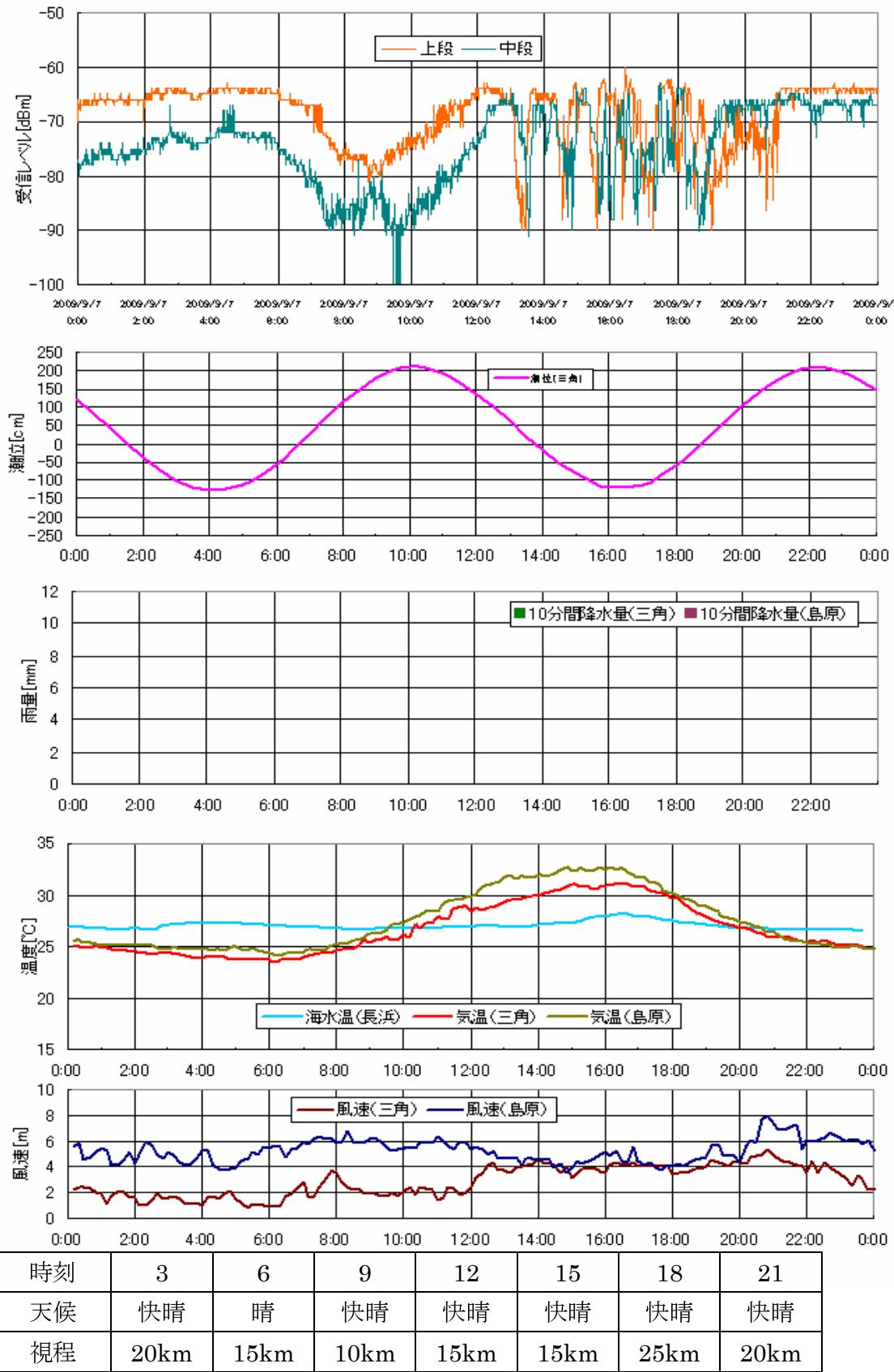
肥後長浜 9月6日

測定データ番号：⑧-長浜



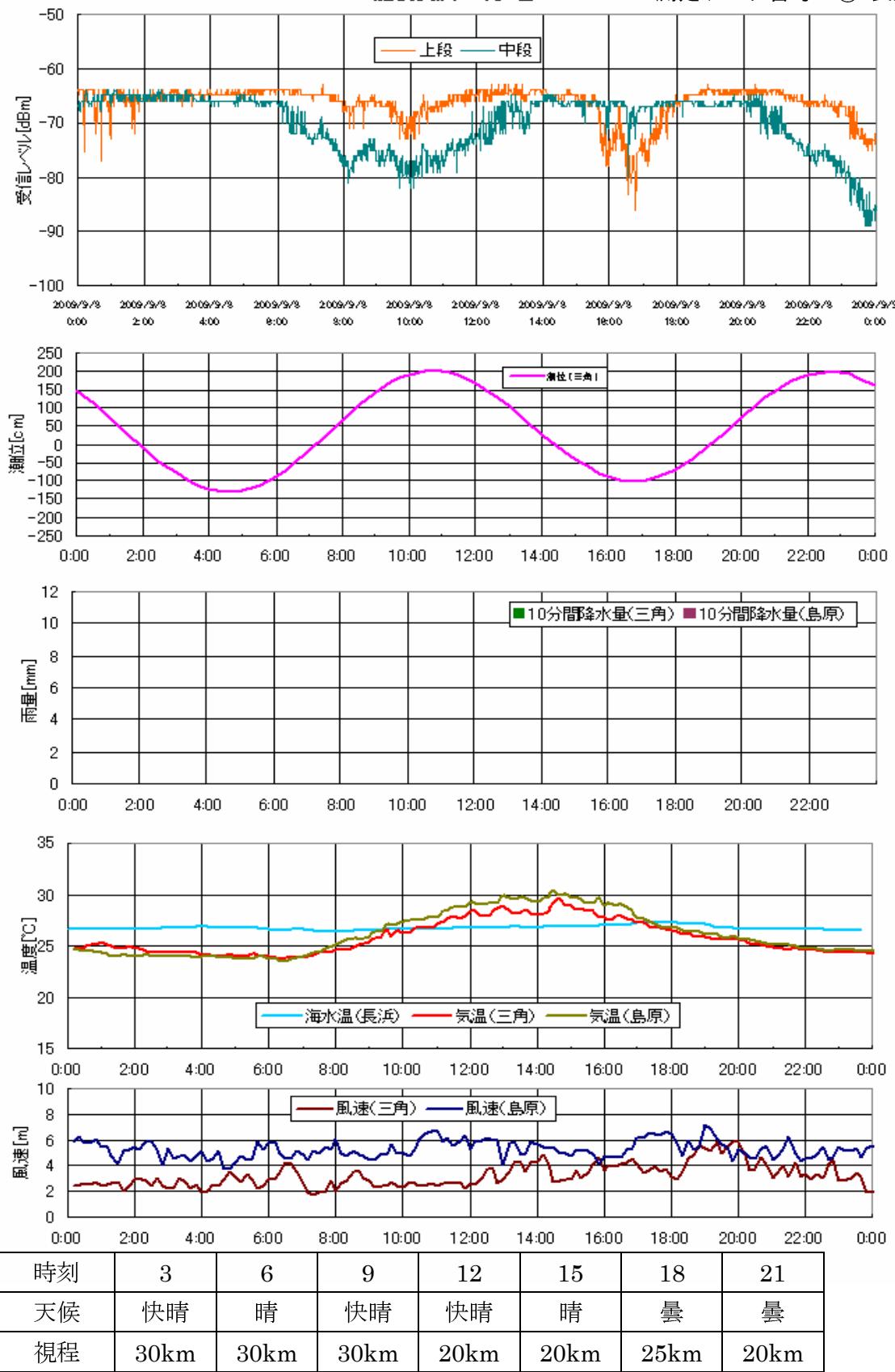
肥後長浜 9月7日

測定データ番号：⑧-長浜



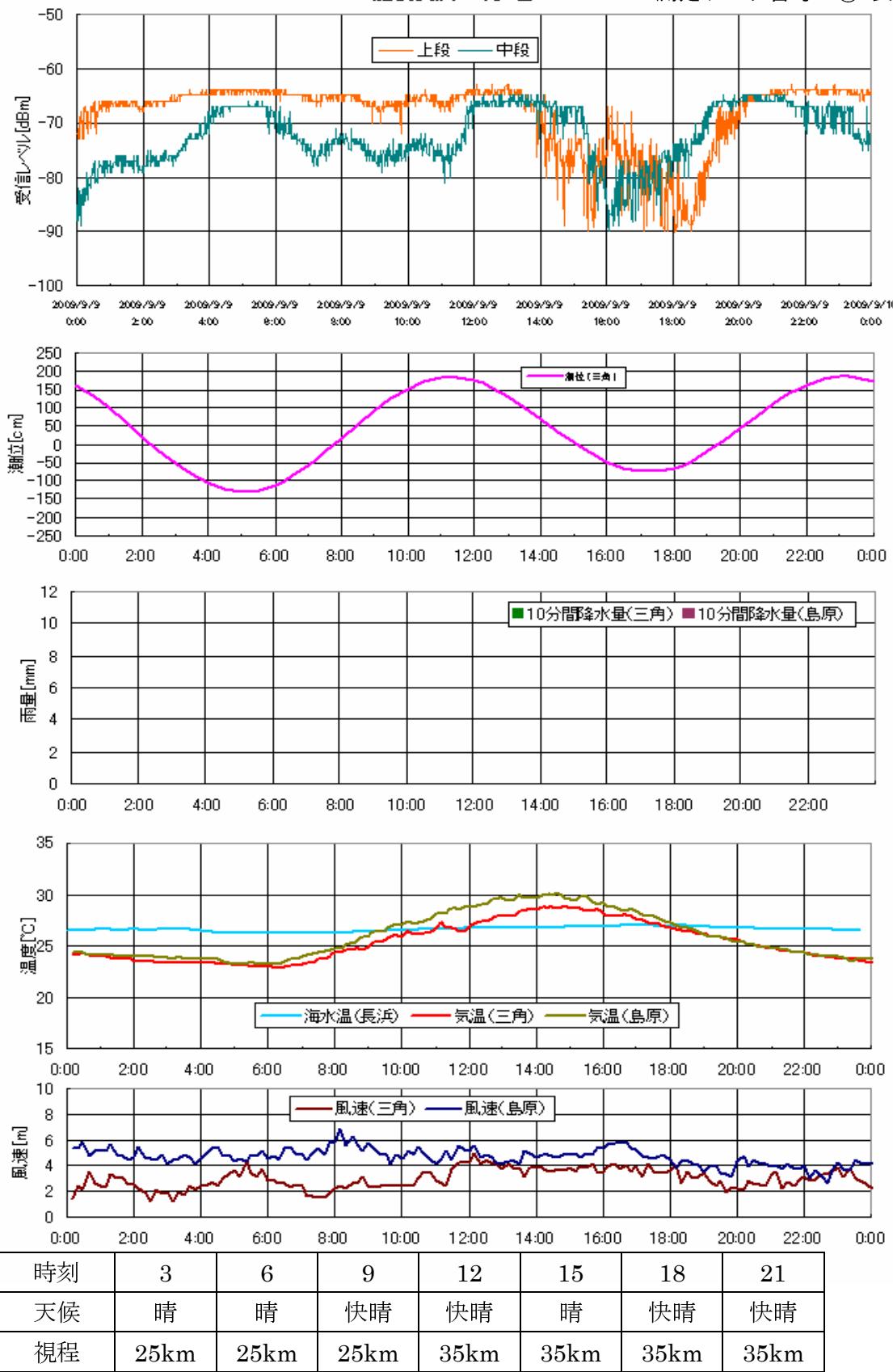
肥後長浜 9月8日

測定データ番号：⑧-長浜



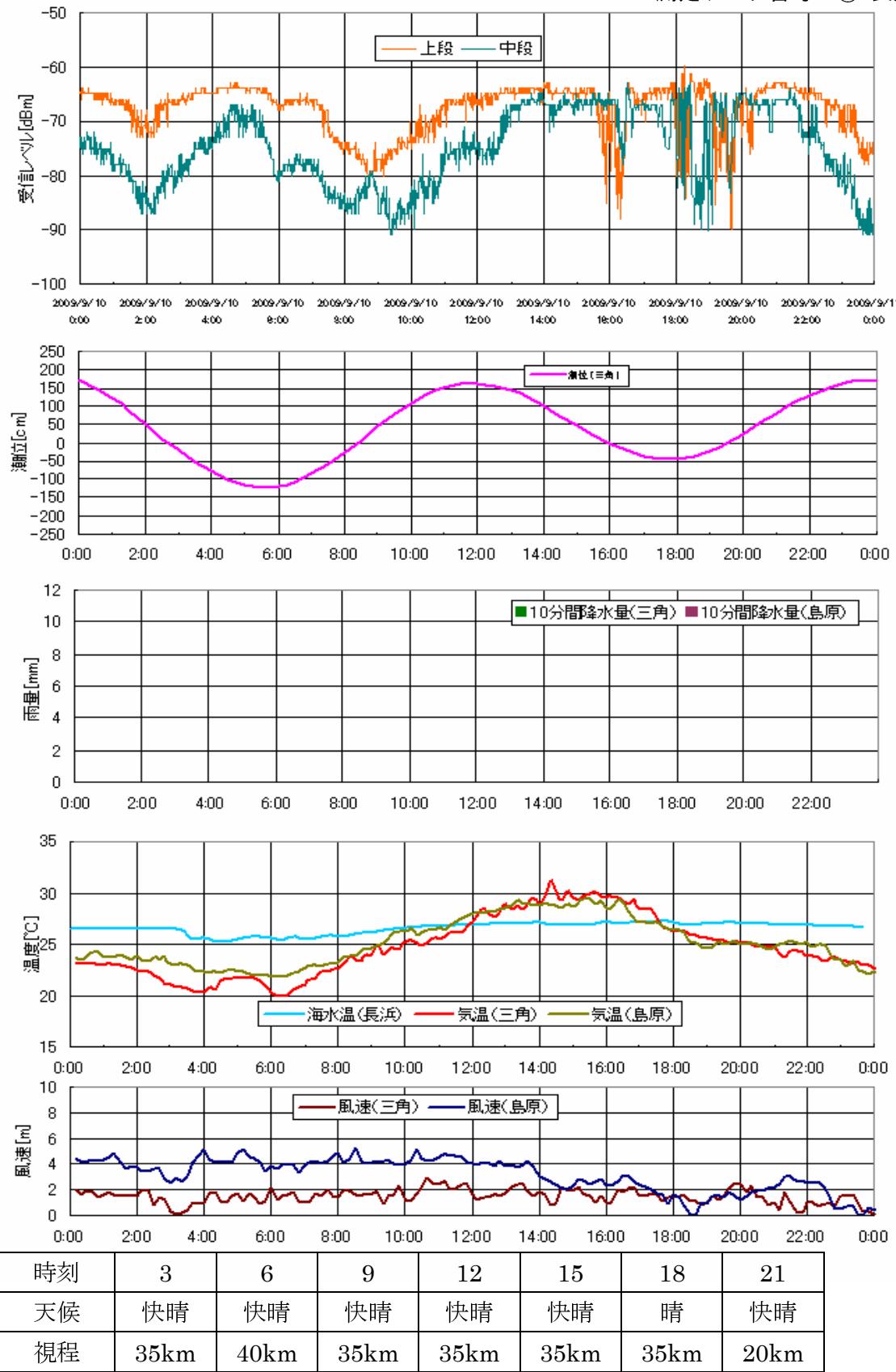
肥後長浜 9月9日

測定データ番号：⑧-長浜



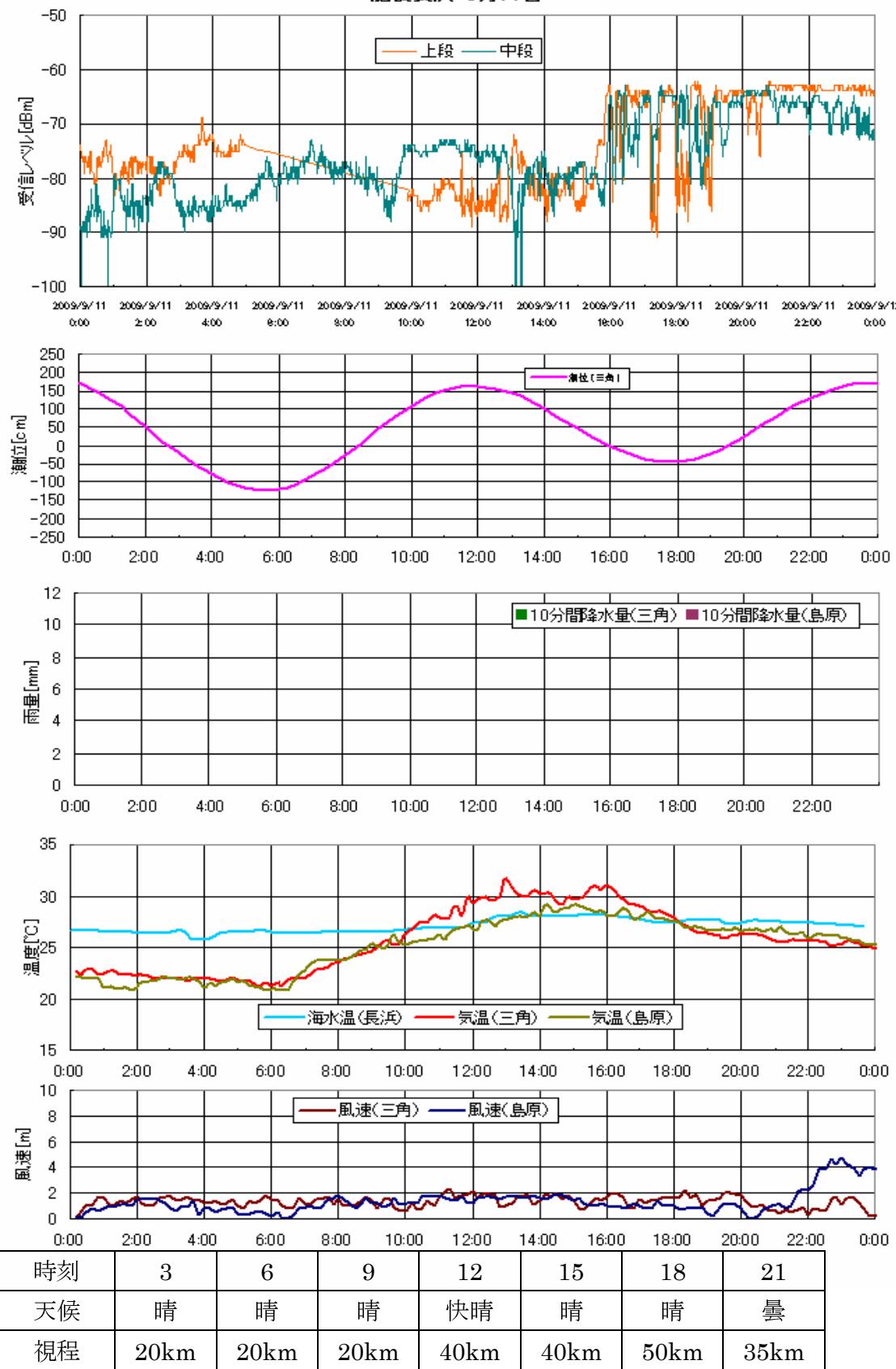
肥後長浜 9月10日

測定データ番号：⑧-長浜



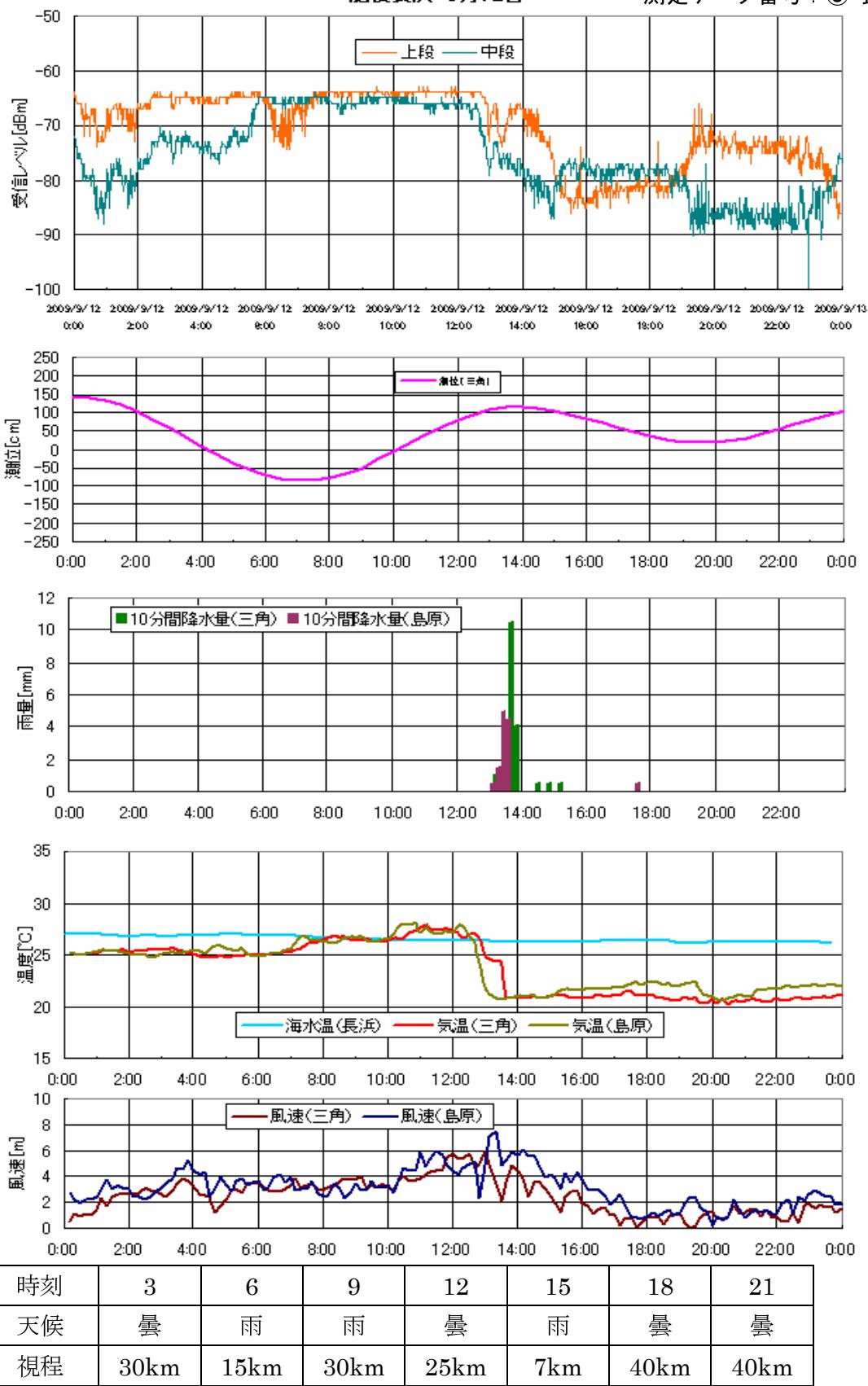
肥後長浜 9月11日

測定データ番号：⑧-長浜



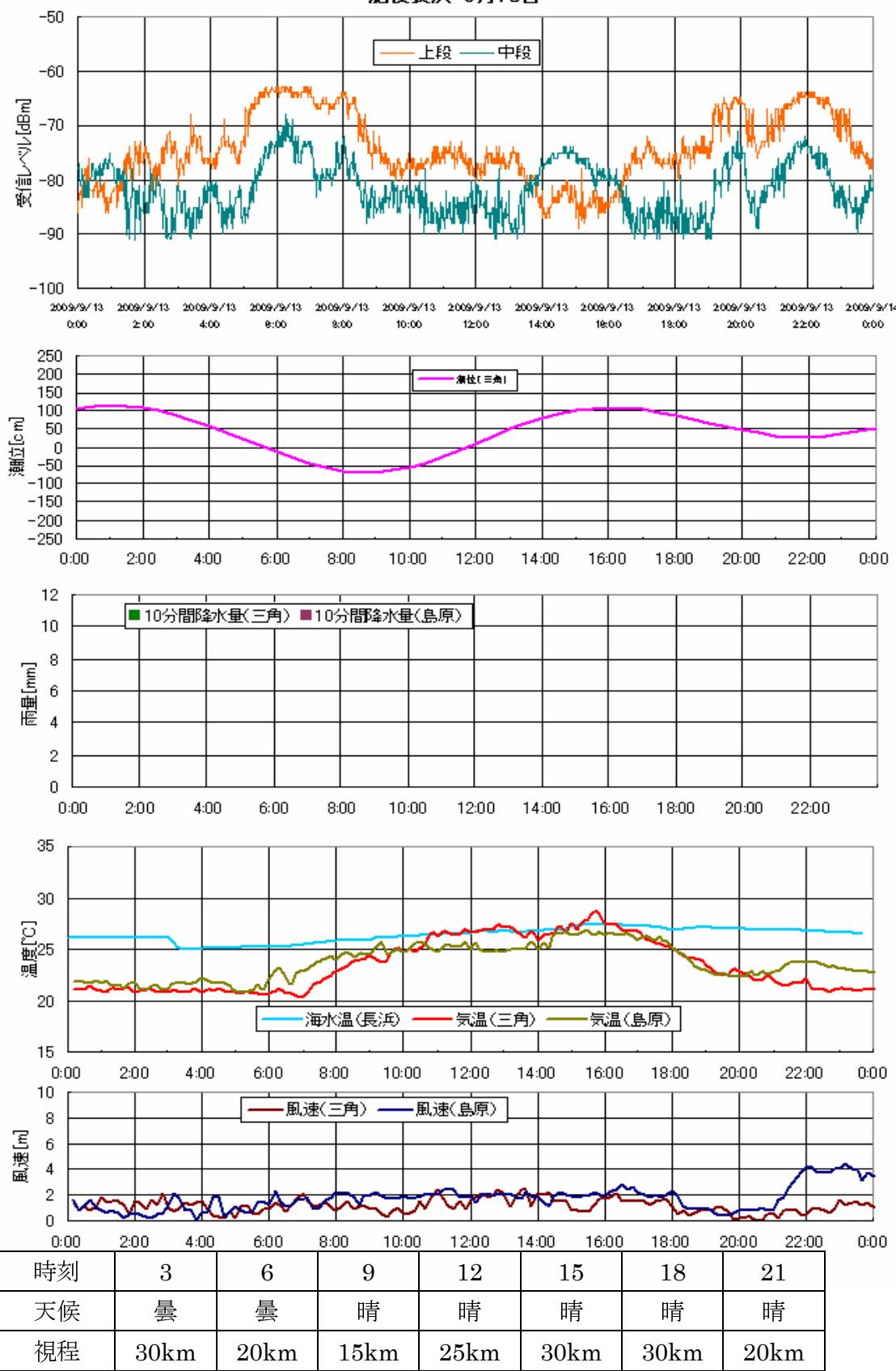
肥後長浜 9月12日

測定データ番号：⑧-長浜



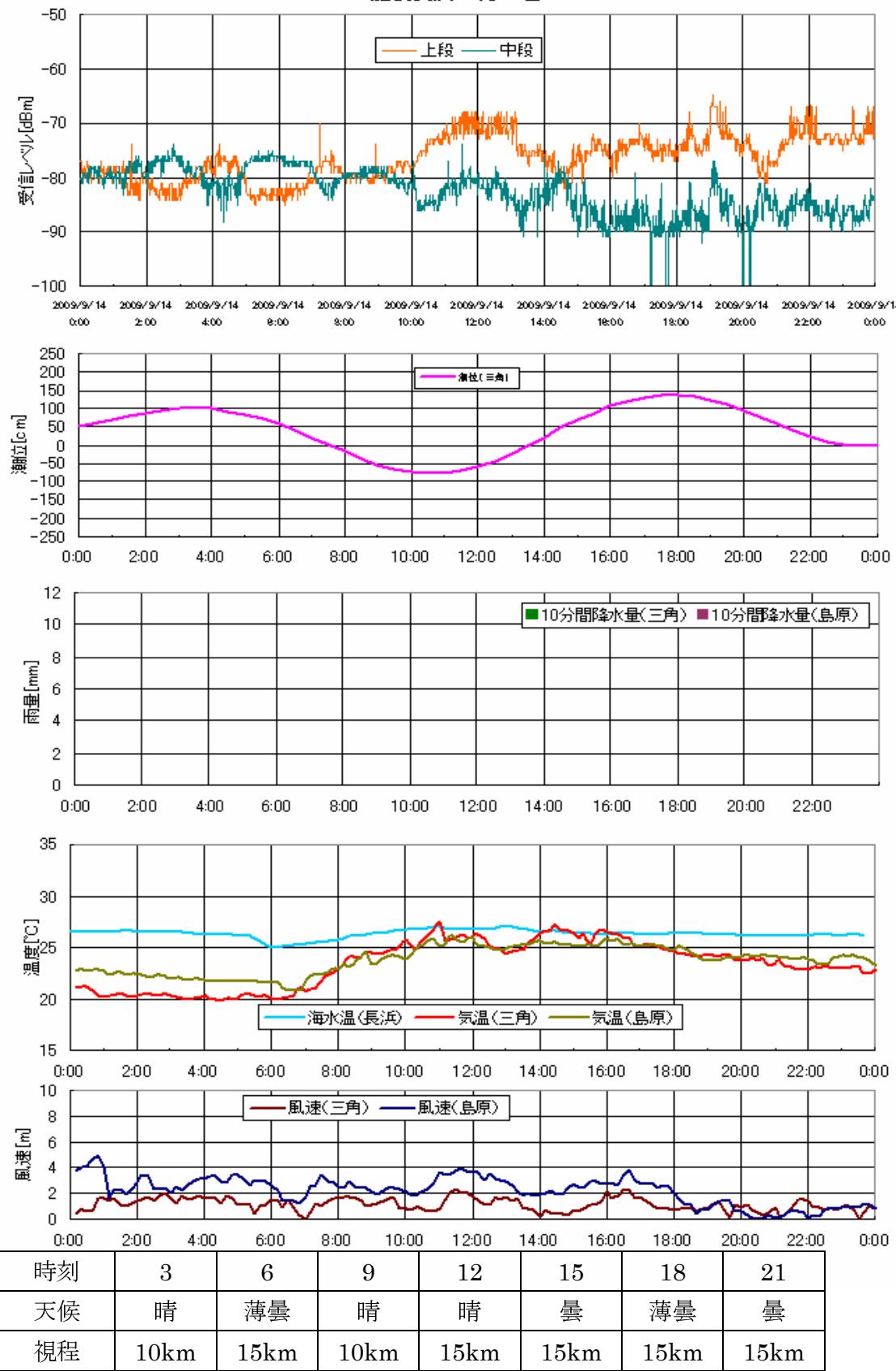
肥後長浜 9月13日

測定データ番号：⑧-長浜



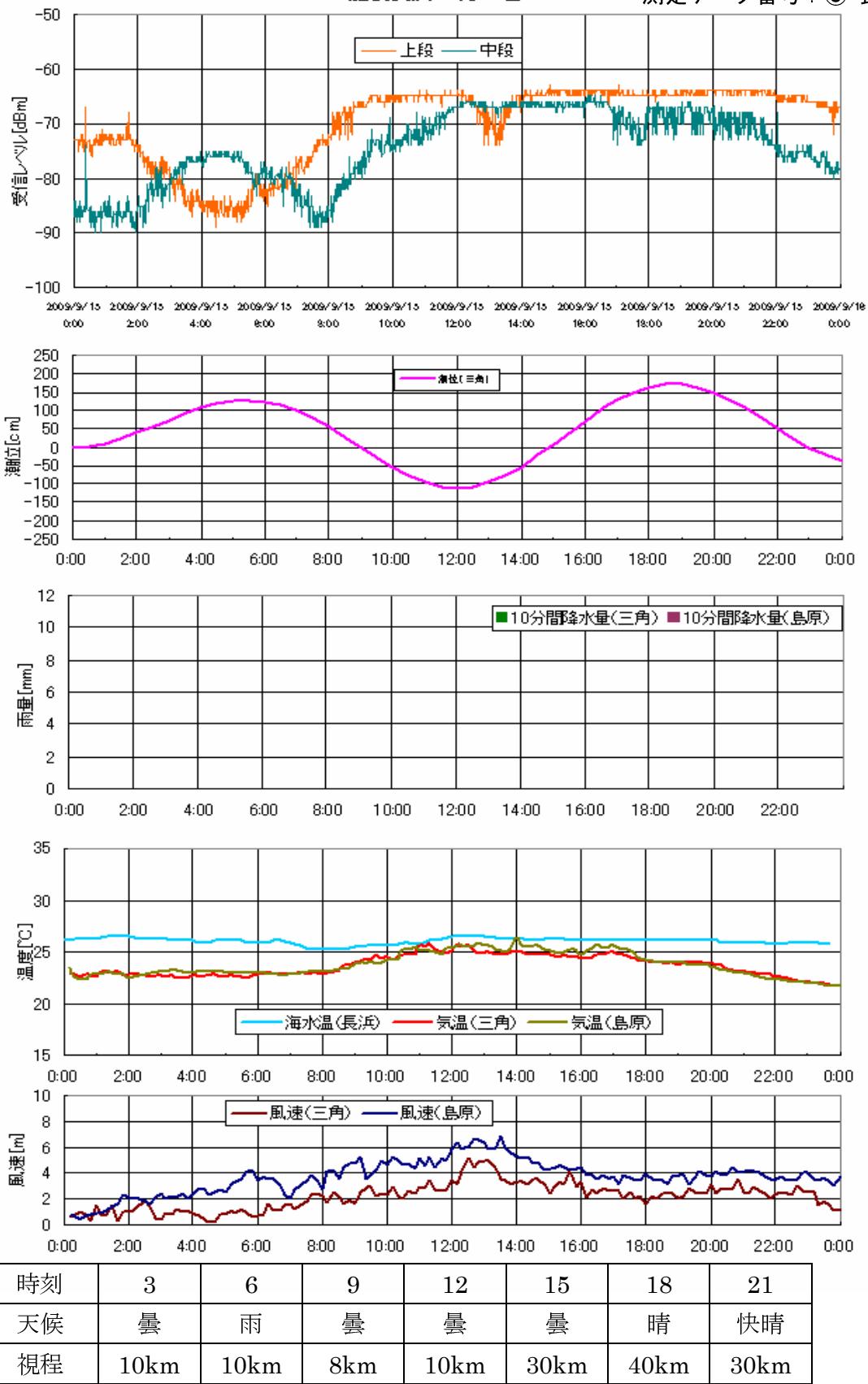
肥後長浜 9月14日

測定データ番号：⑧-長浜



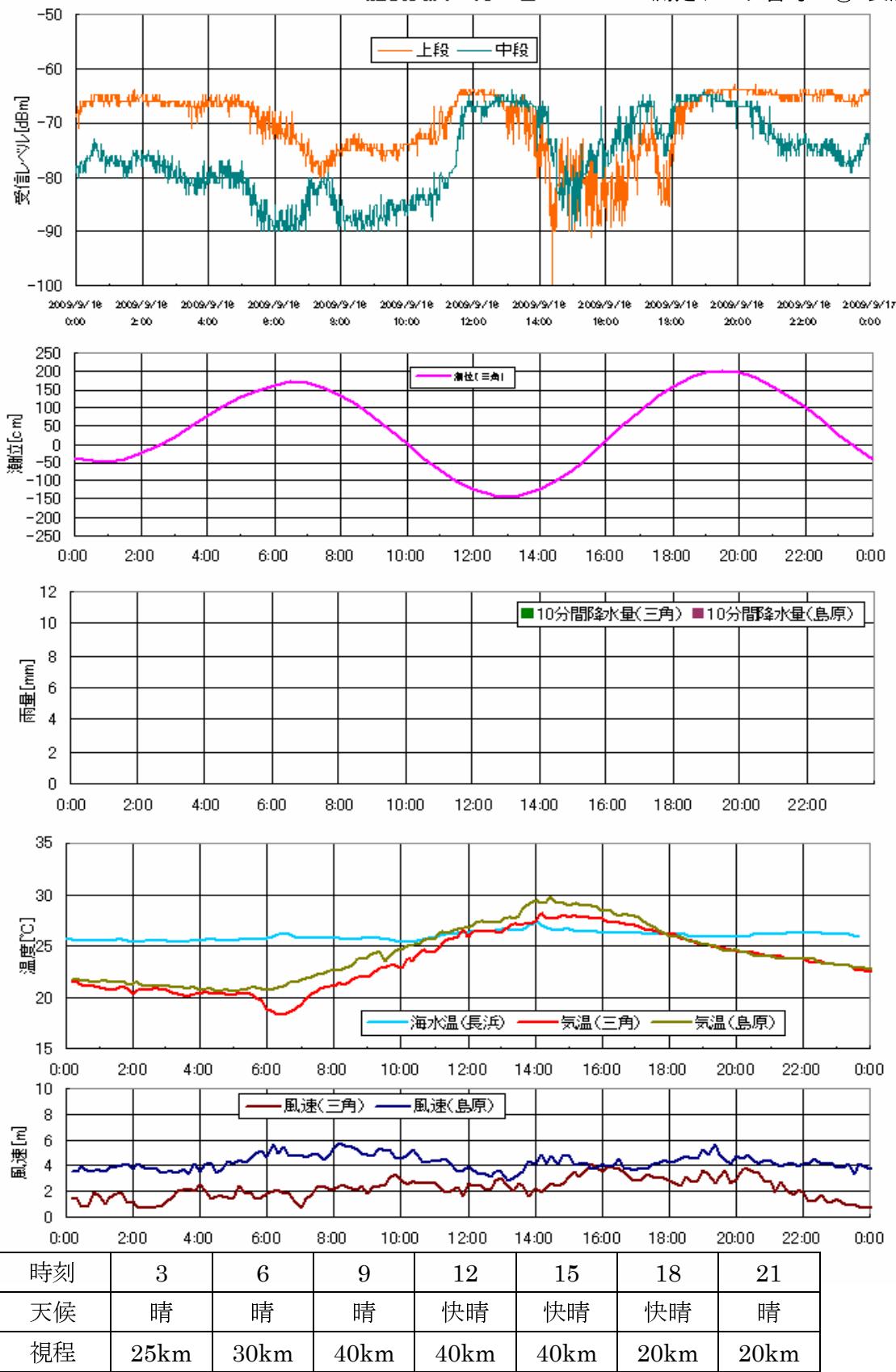
肥後長浜 9月15日

測定データ番号：⑧-長浜



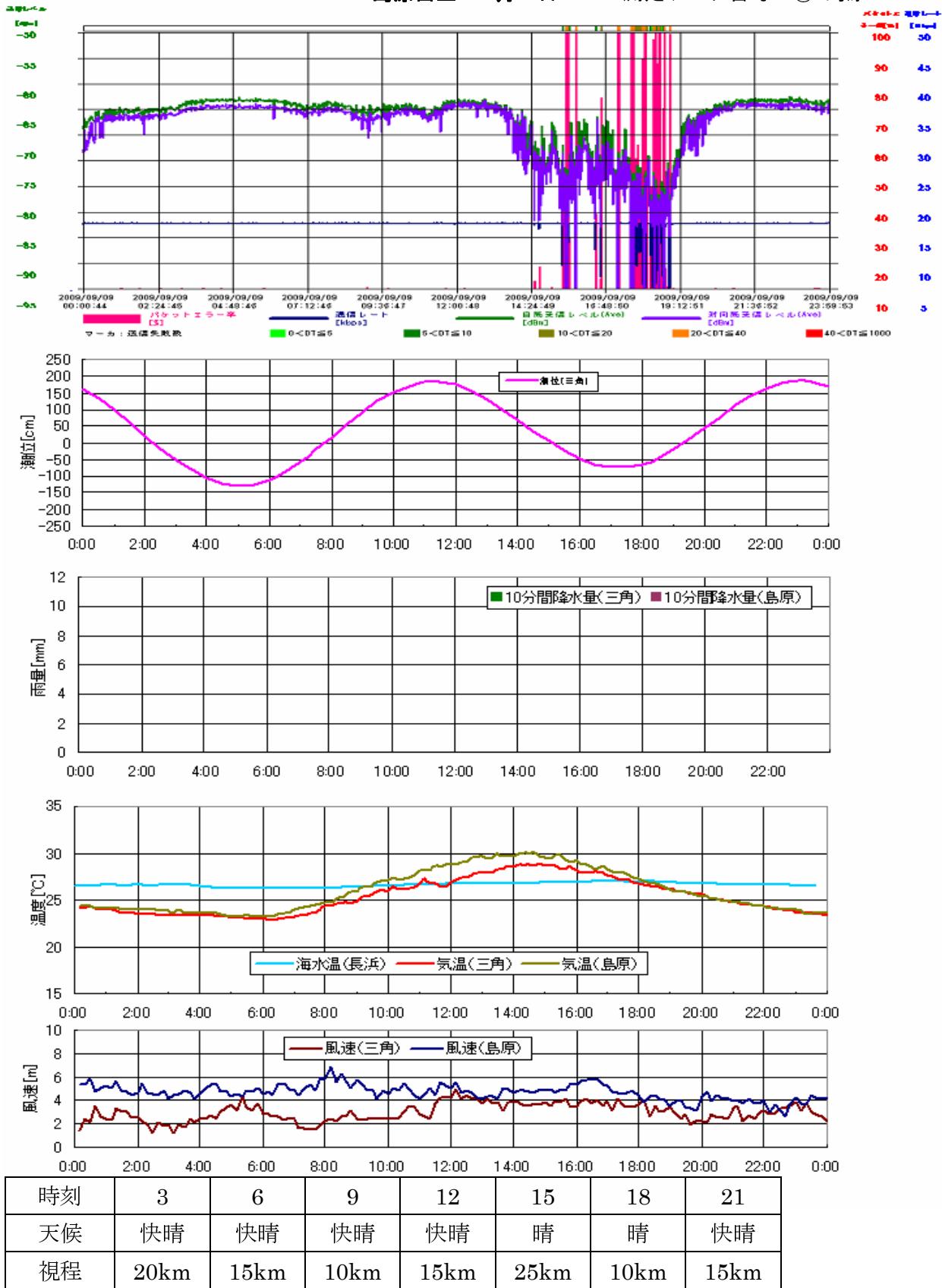
肥後長浜 9月16日

測定データ番号：⑧-長浜



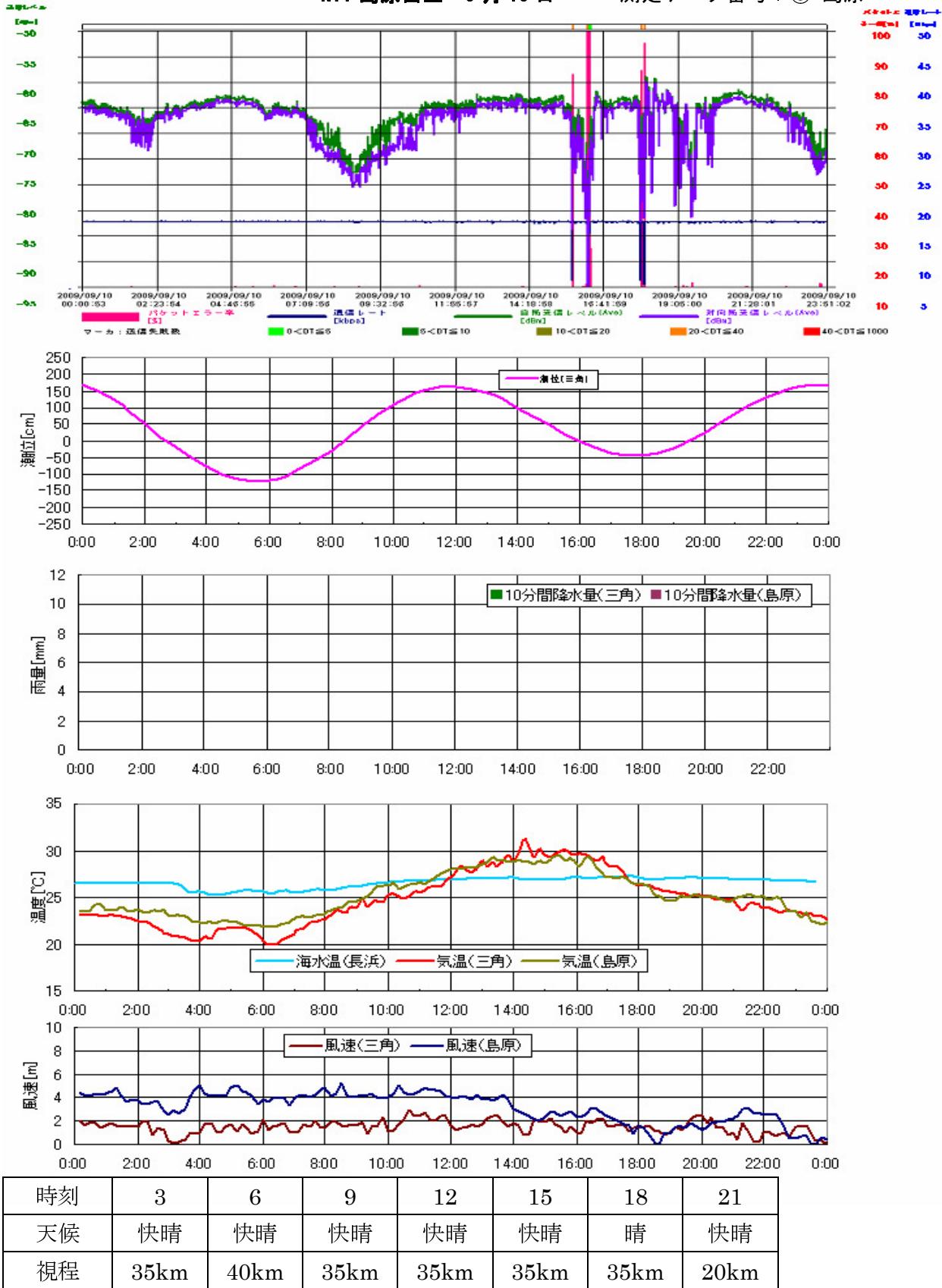
NTT 島原白土 9月9日

測定データ番号 : ⑧-島原

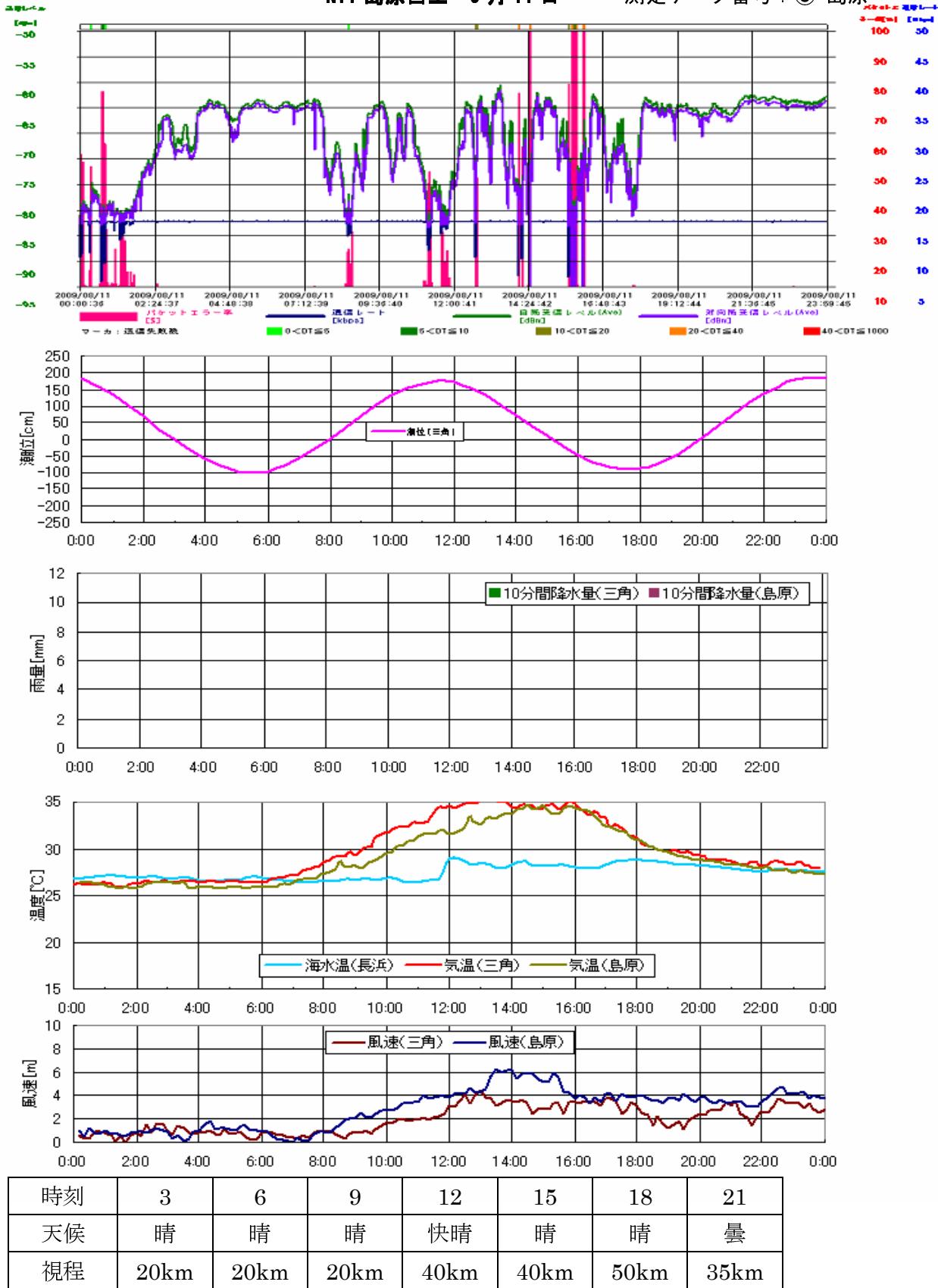


NTT 島原白土 9月10日

測定データ番号 : ⑧-島原

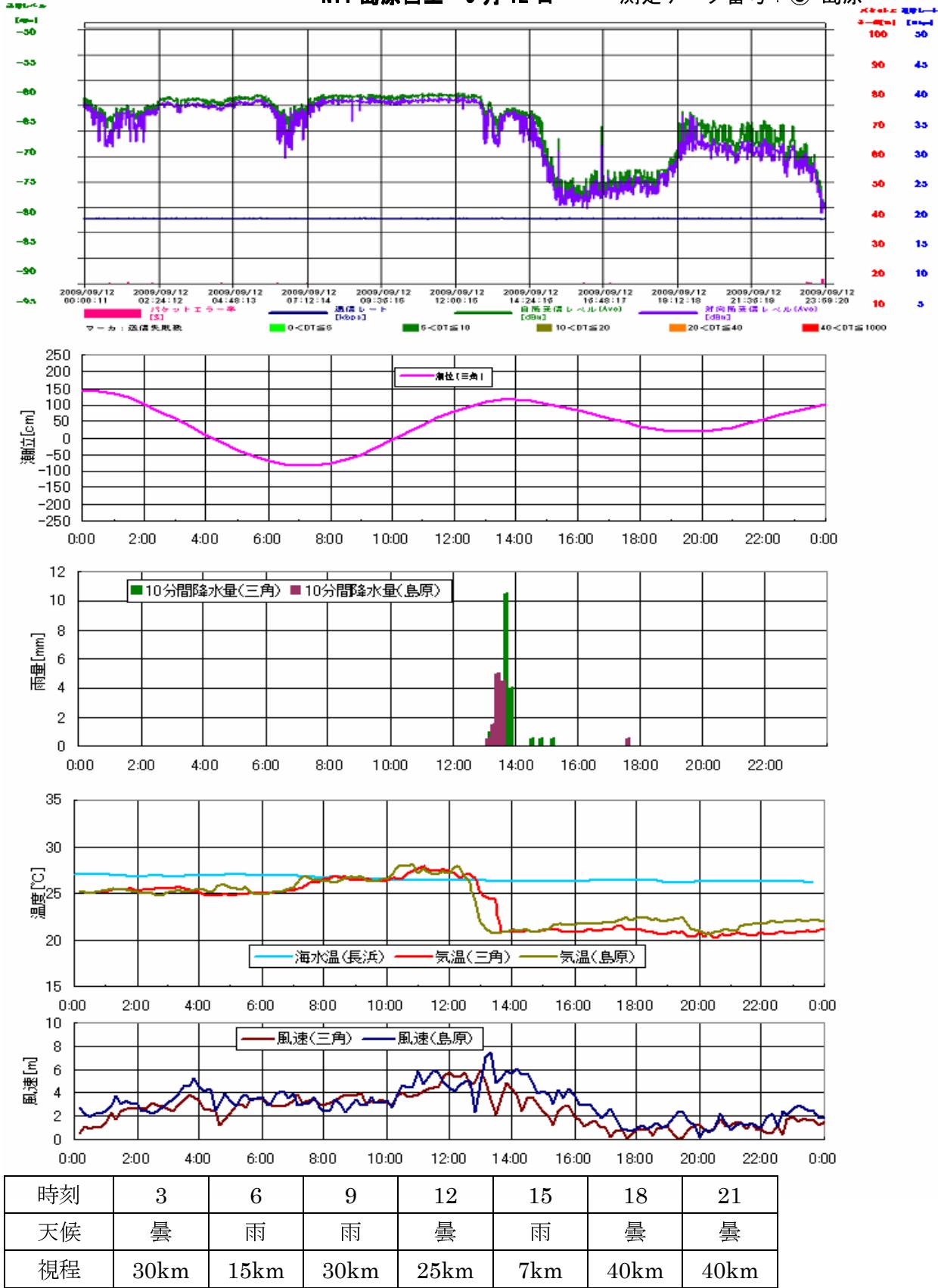


NTT 島原白土 9月11日 測定データ番号：⑧-島原

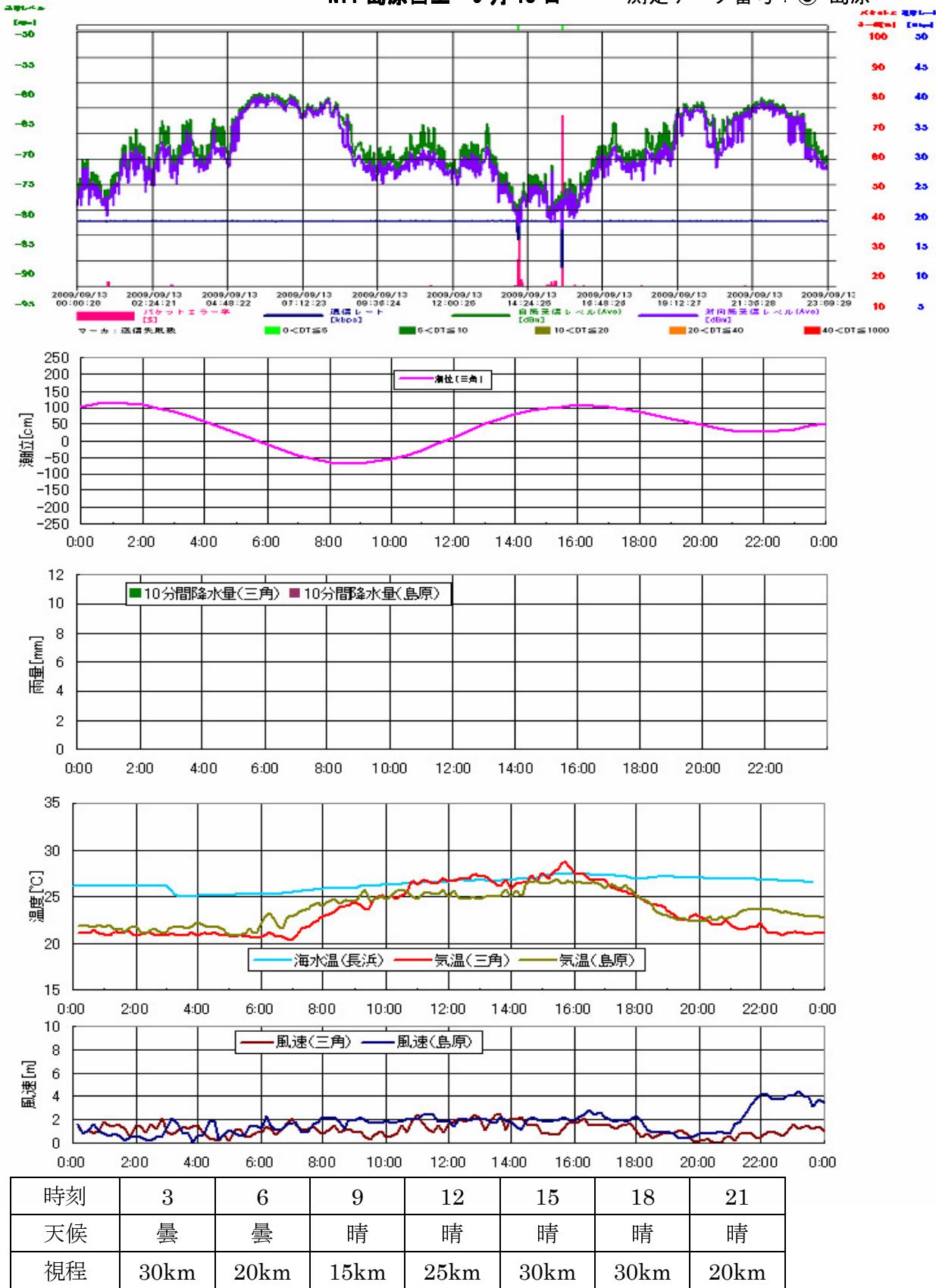


NTT 島原白土 9月12日

測定データ番号 : ⑧-島原

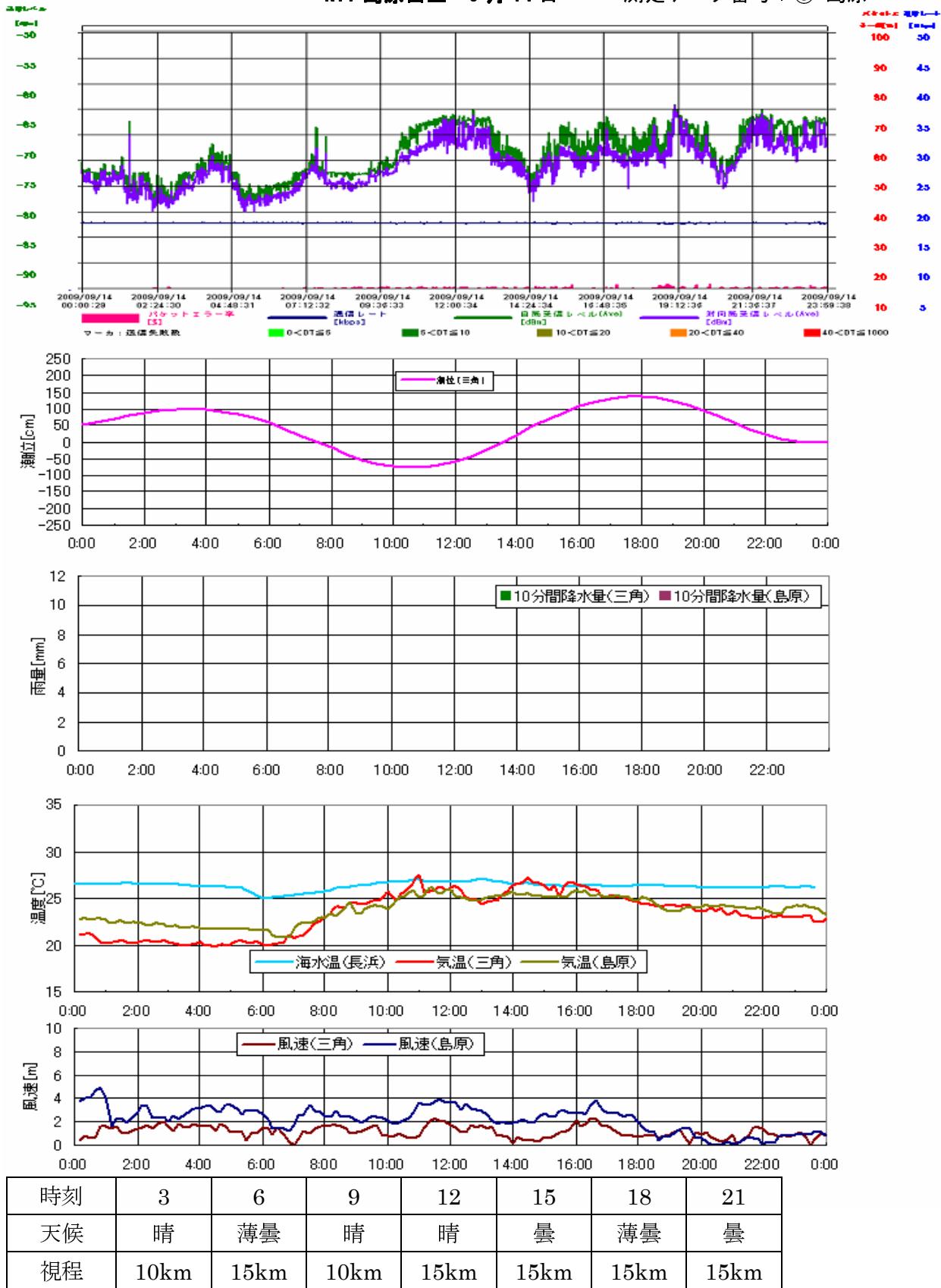


NTT 島原白土 9月13日 測定データ番号：⑧-島原

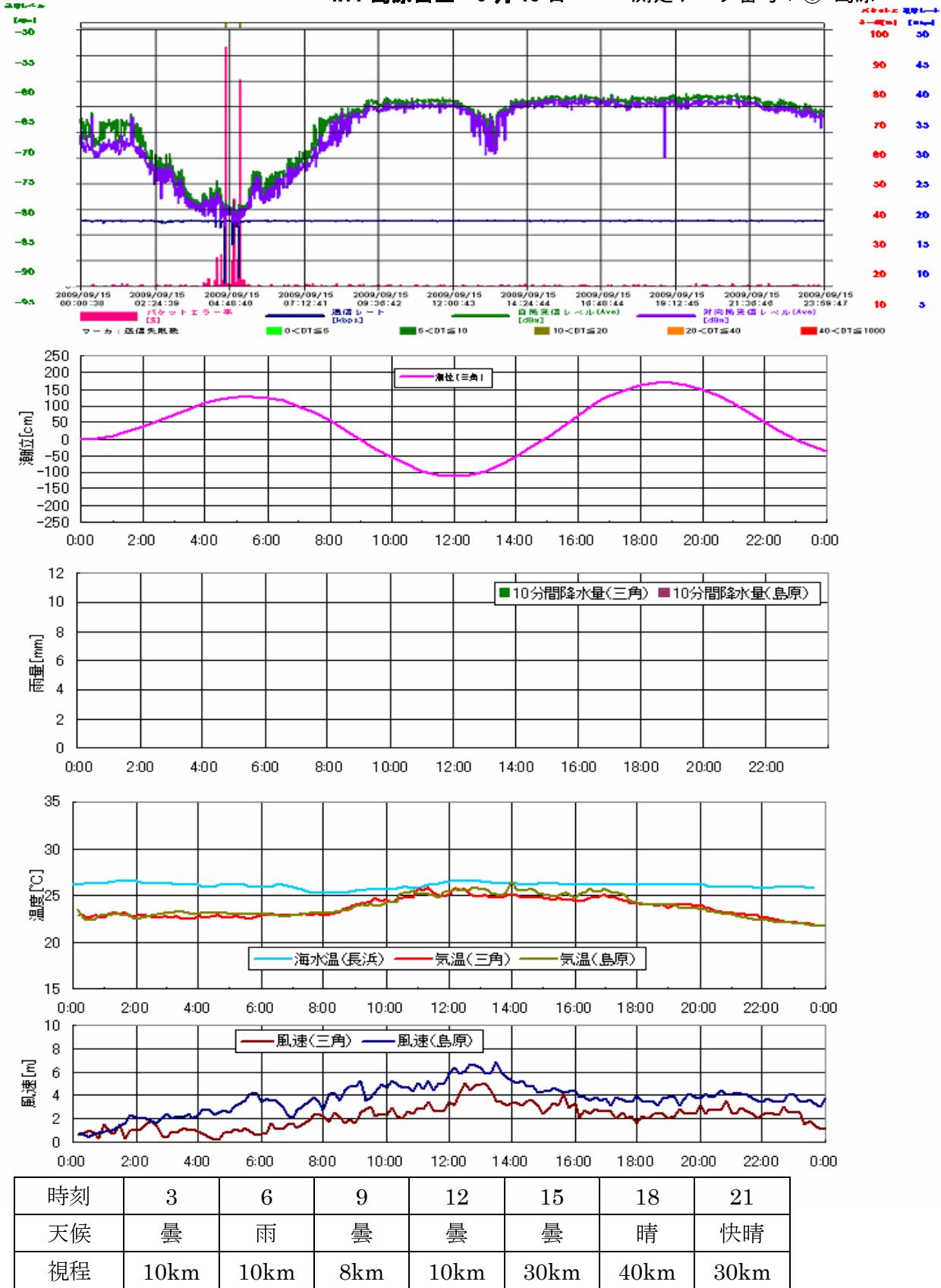


NTT 島原白土 9月14日

測定データ番号 : ⑧-島原

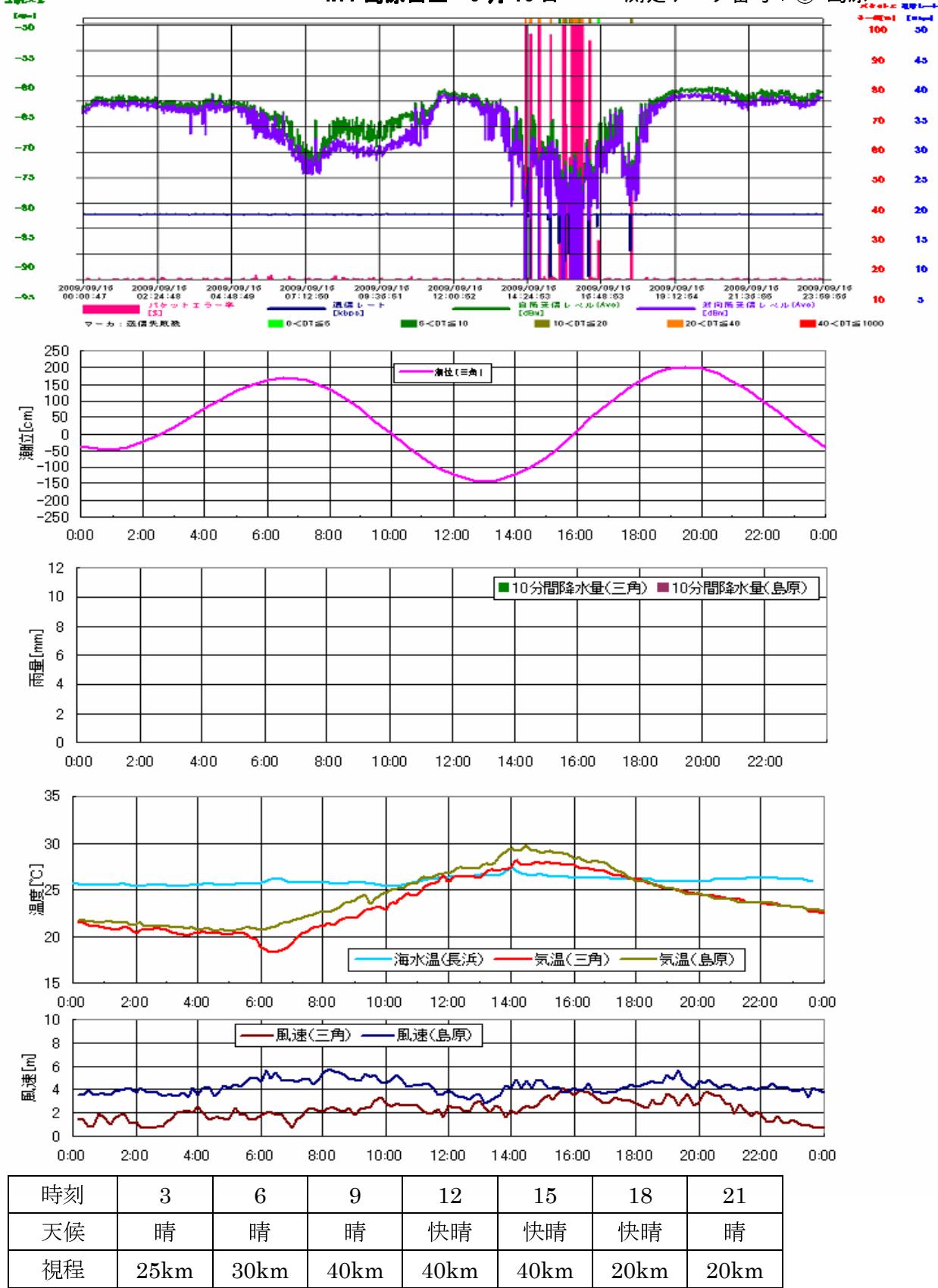


NTT 島原白土 9月15日 測定データ番号：⑧-島原



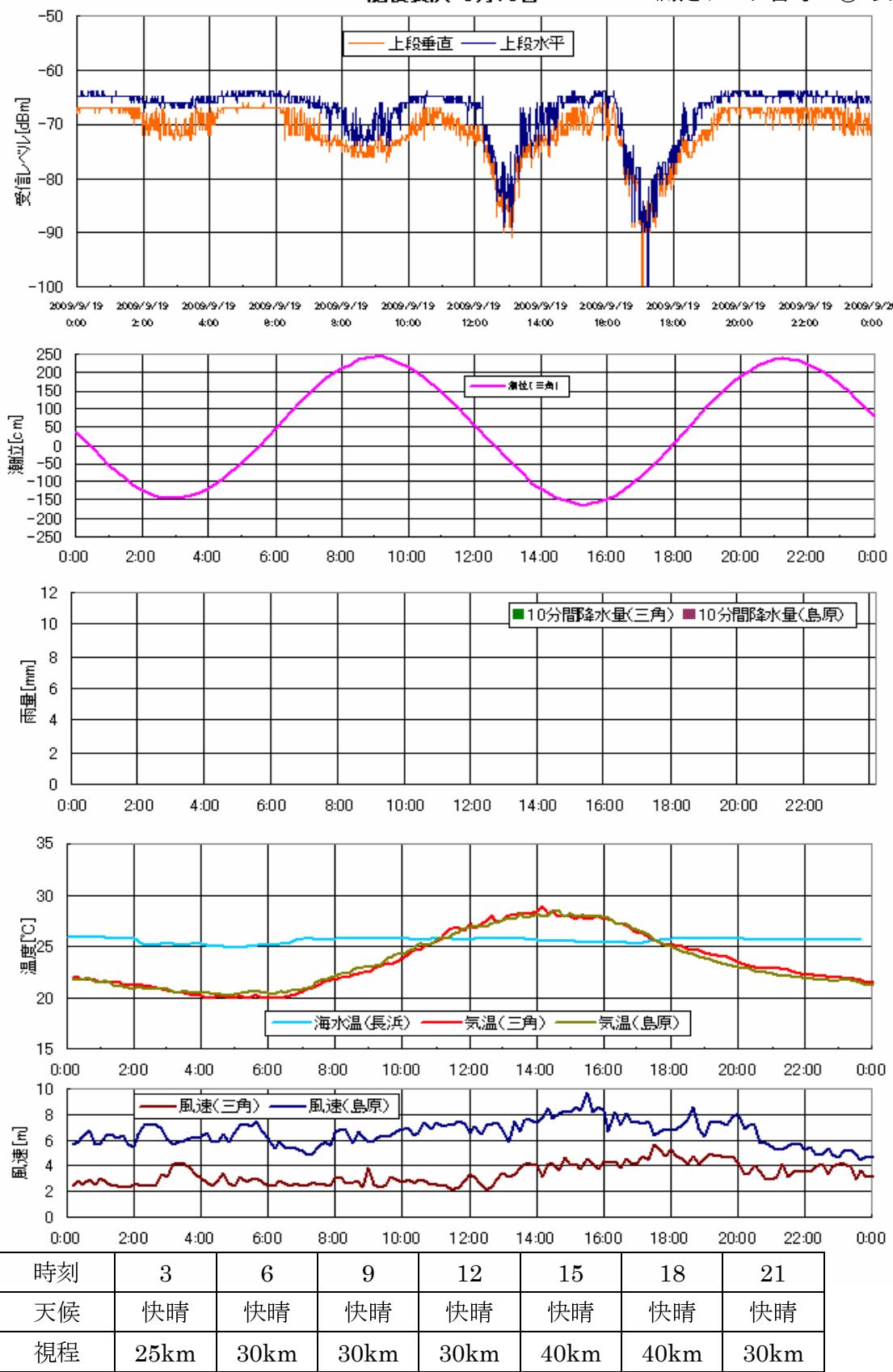
NTT 島原白土 9月16日

測定データ番号 : ⑧-島原



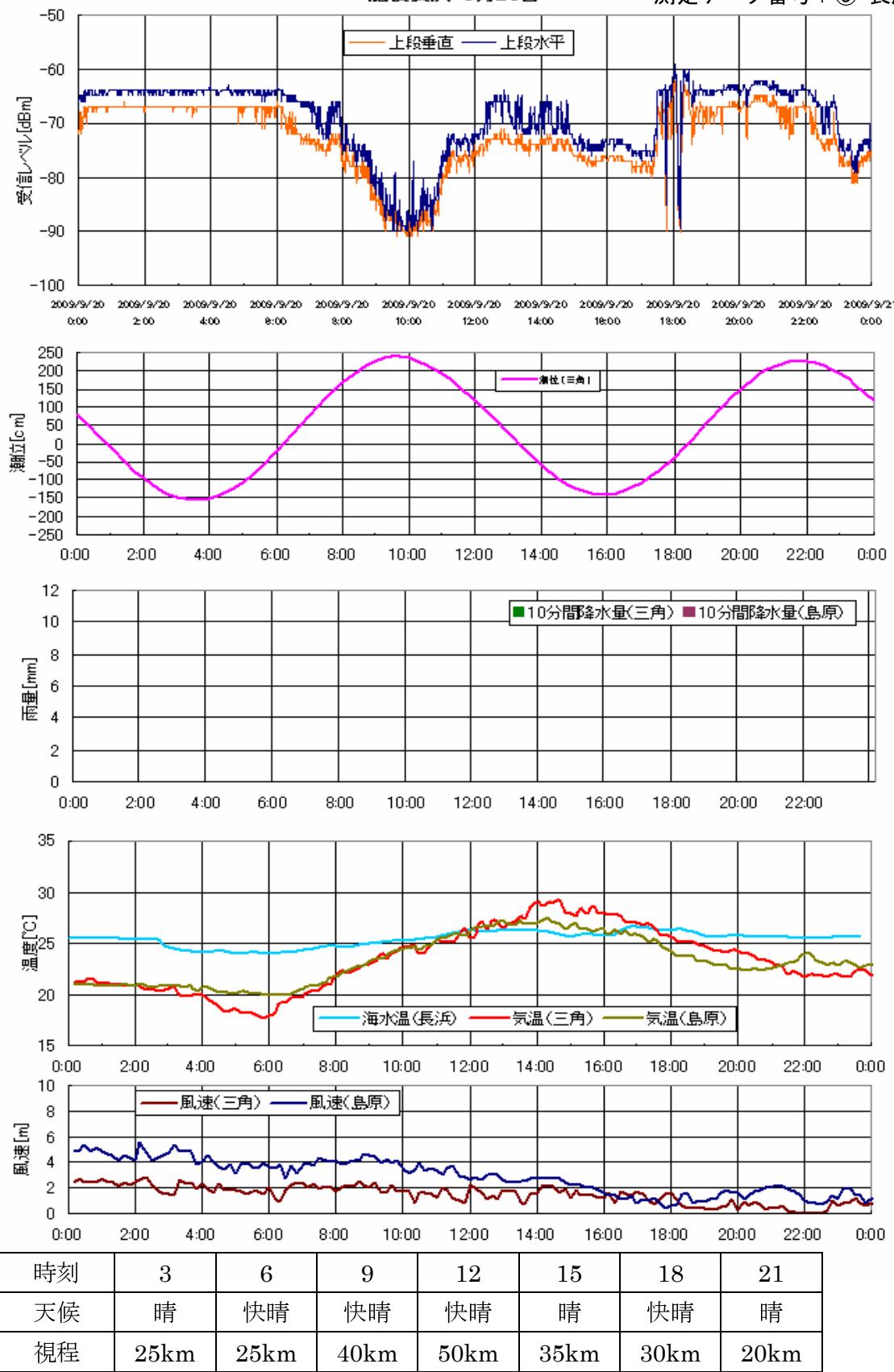
肥後長浜 9月19日

測定データ番号：⑨-長浜



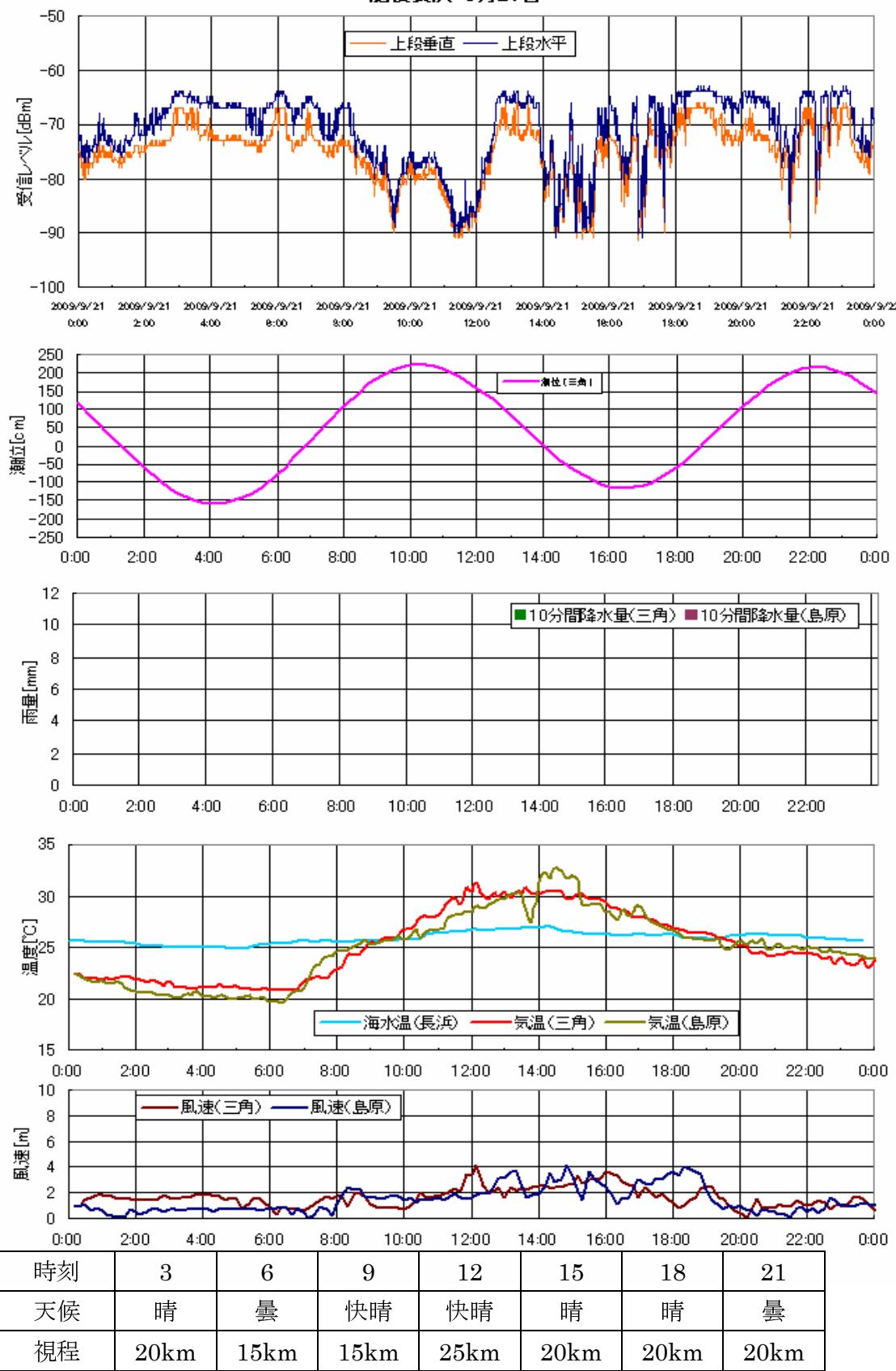
肥後長浜 9月20日

測定データ番号 : ⑨-長浜



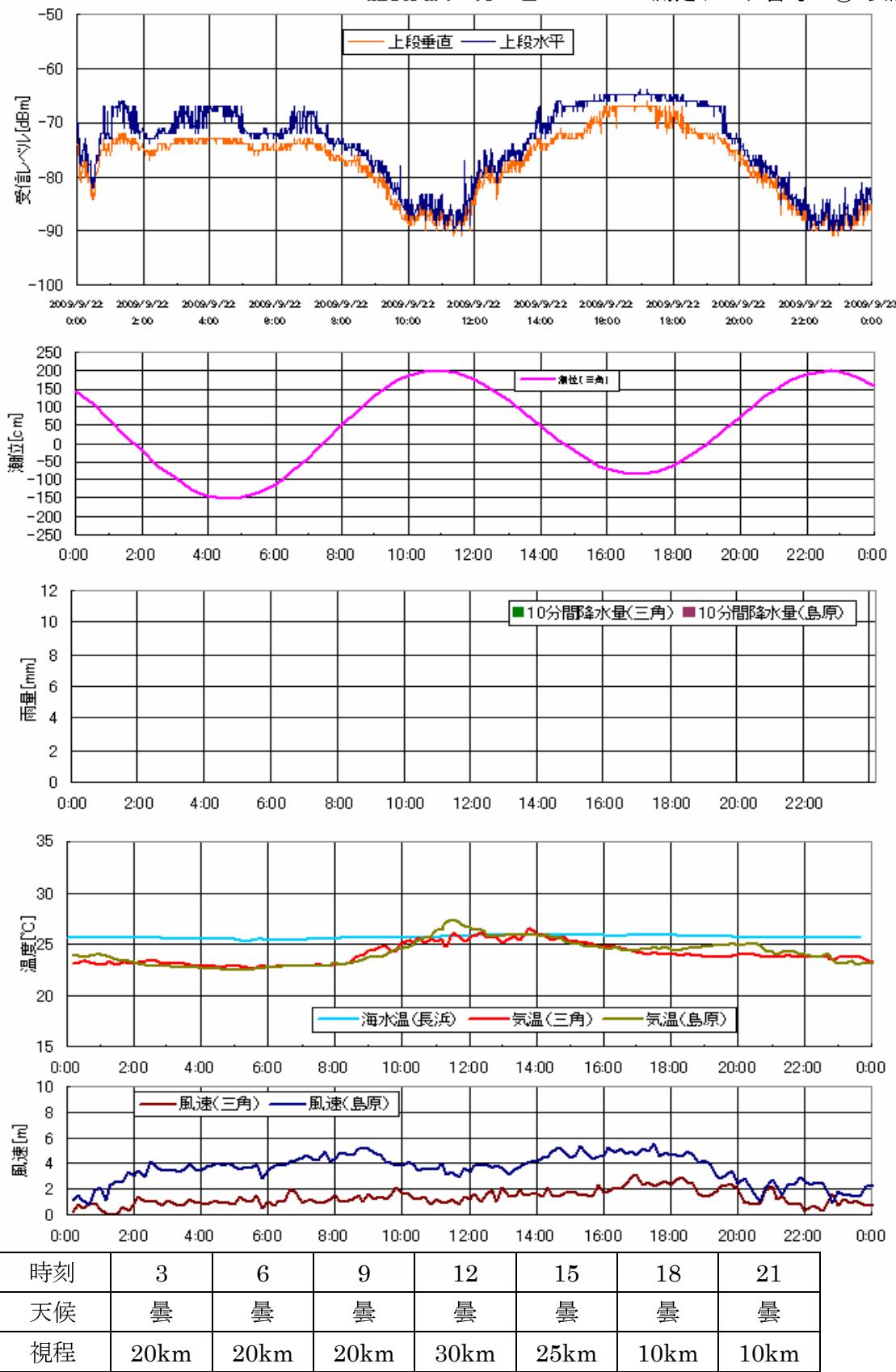
肥後長浜 9月21日

測定データ番号：⑨-長浜



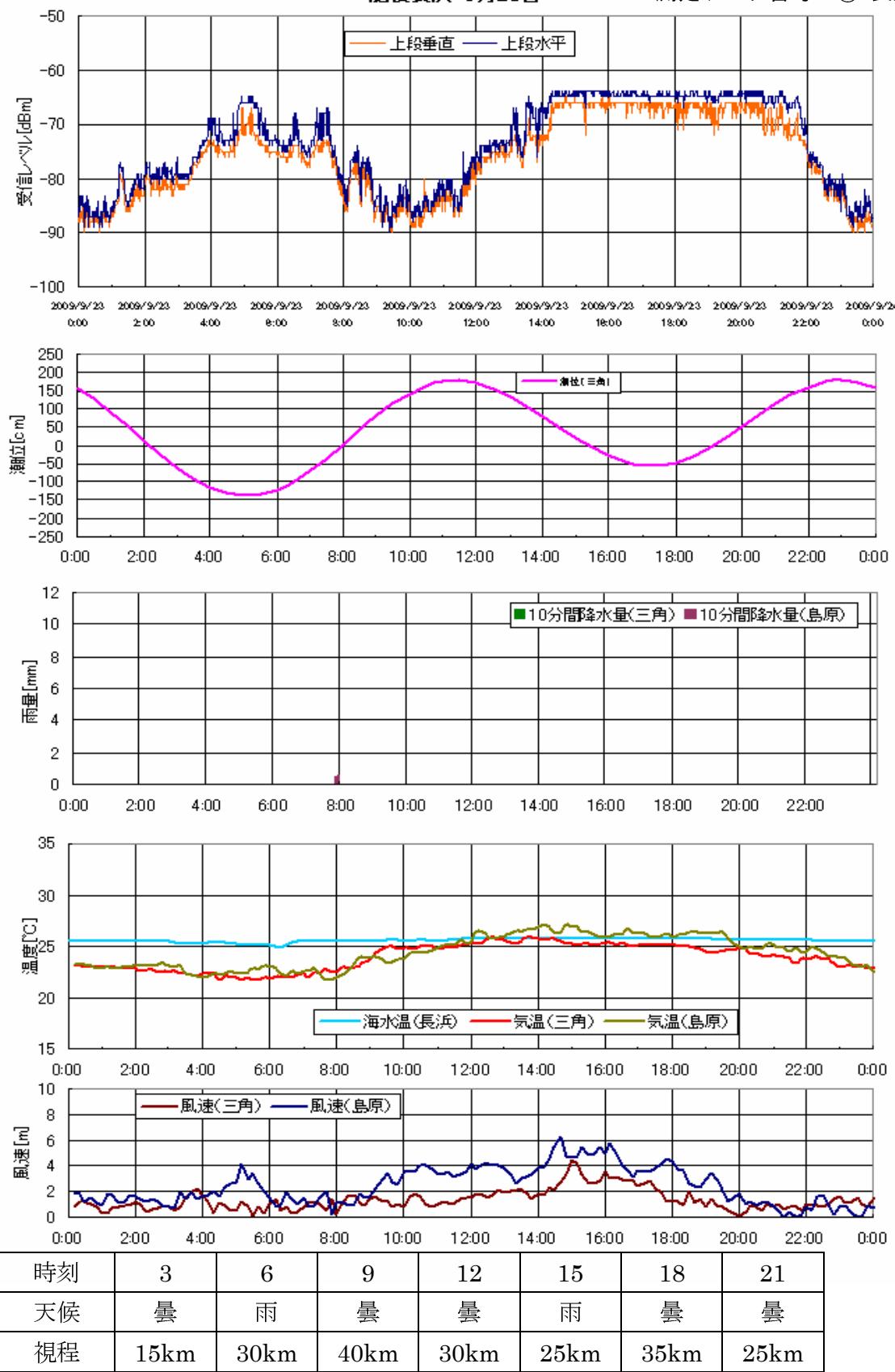
肥後長浜 9月22日

測定データ番号：⑨-長浜



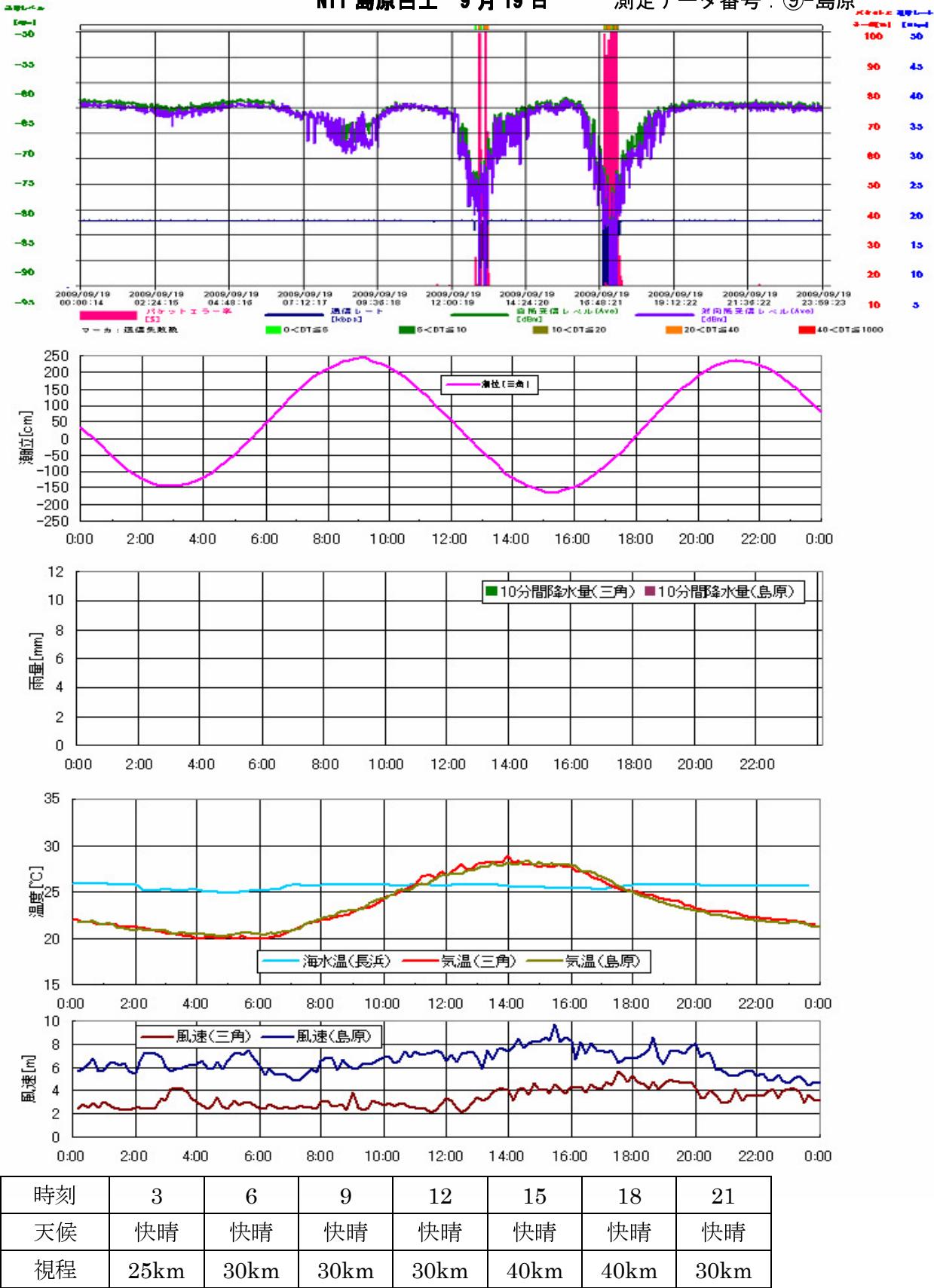
肥後長浜 9月23日

測定データ番号：⑨-長浜



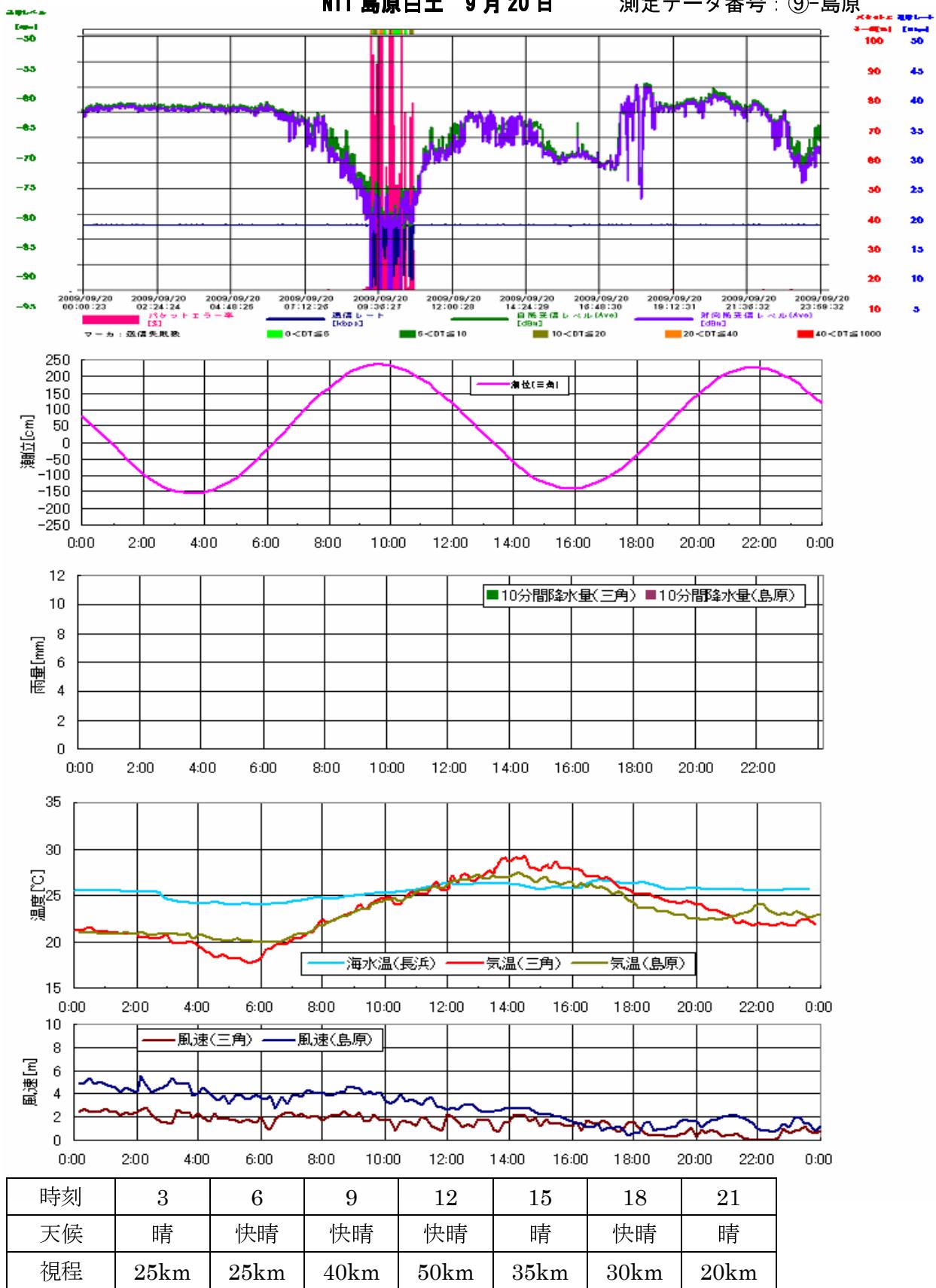
NTT 島原白土 9月19日

測定データ番号 : ⑨-島原



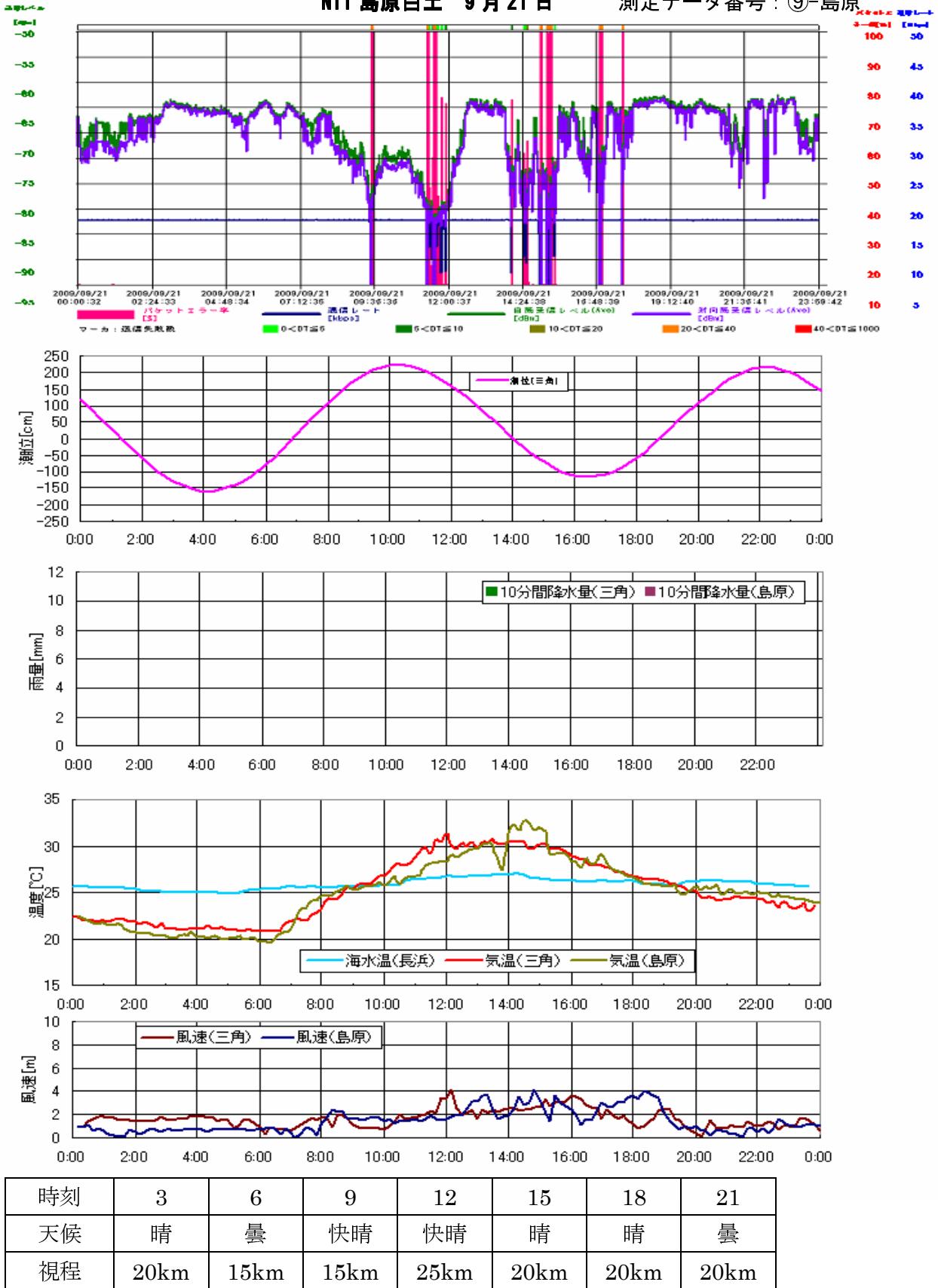
NTT 島原白土 9月20日

測定データ番号 : ⑨-島原

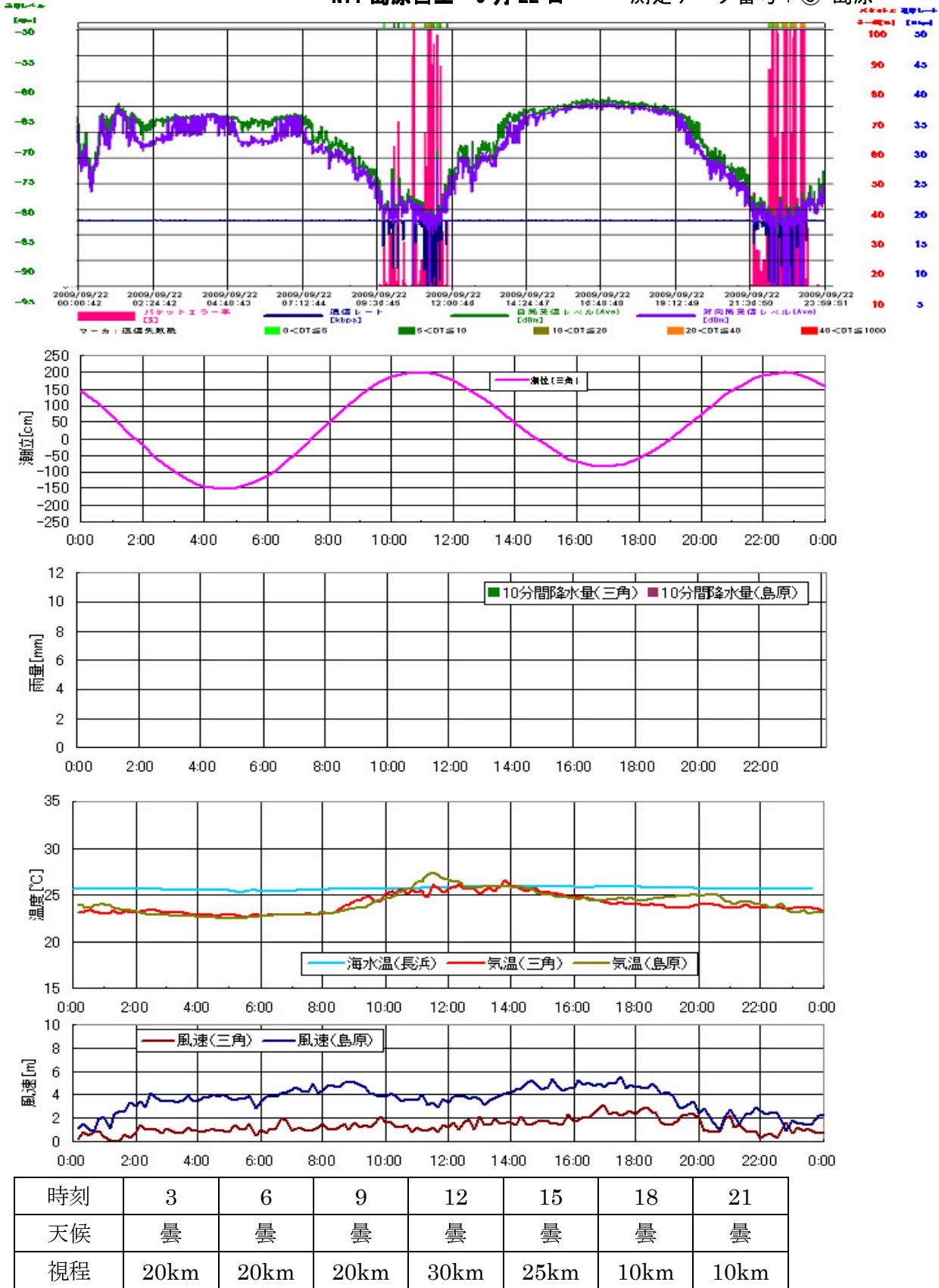


NTT 島原白土 9月21日

測定データ番号 : ⑨-島原

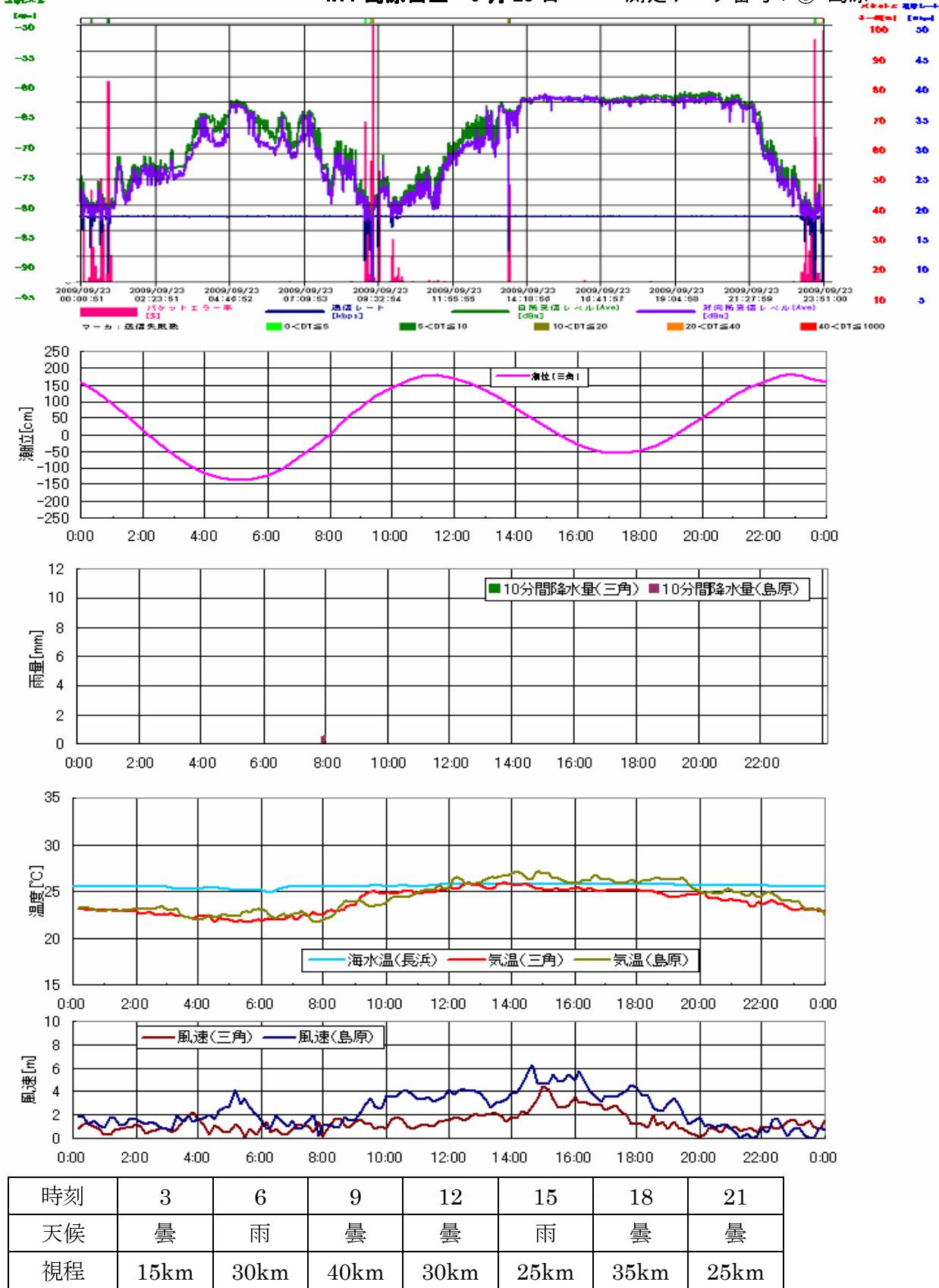


NTT 島原白土 9月22日 測定データ番号：⑨-島原



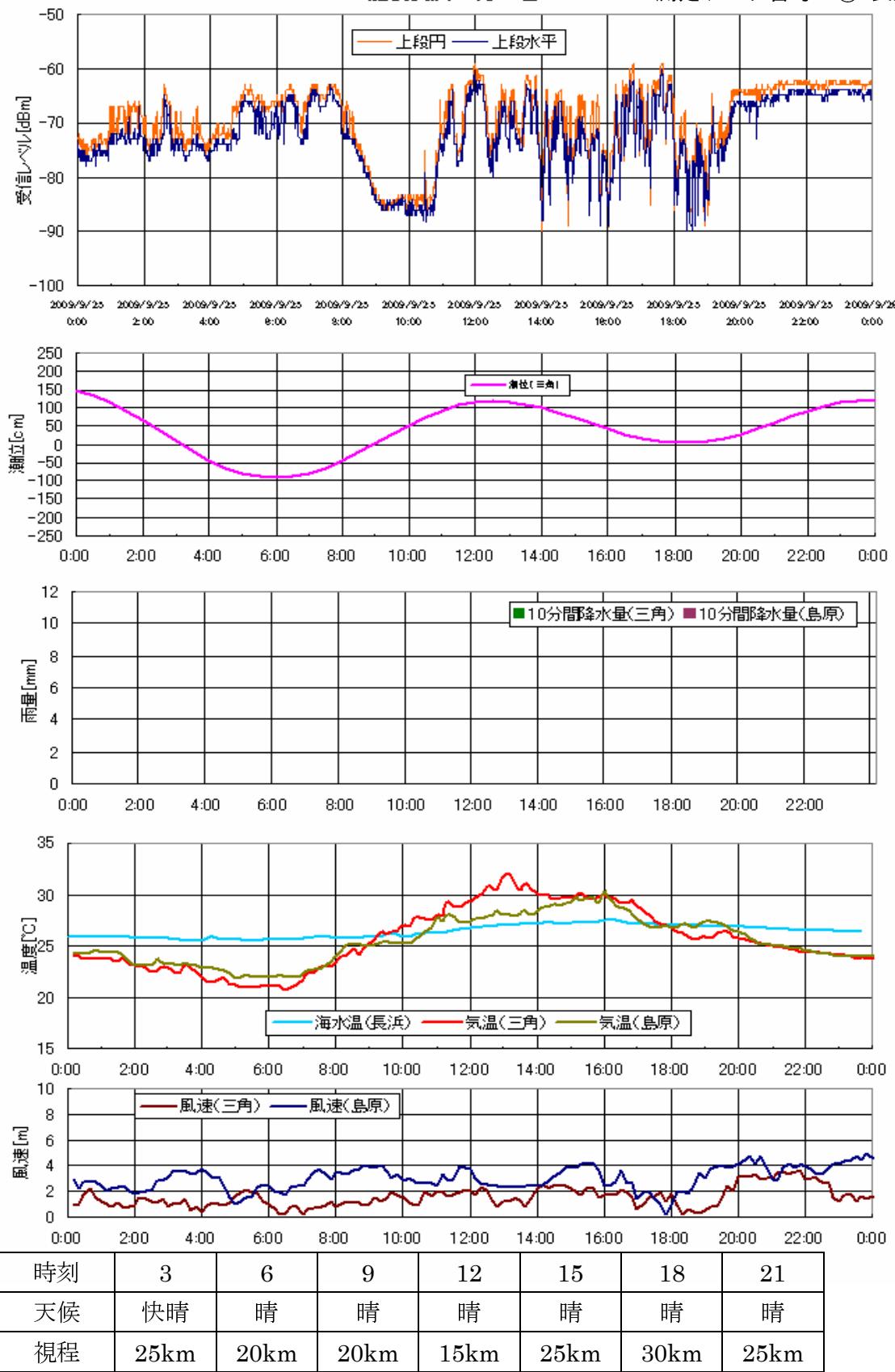
NTT 島原白土 9月23日

測定データ番号 : ⑨-島原



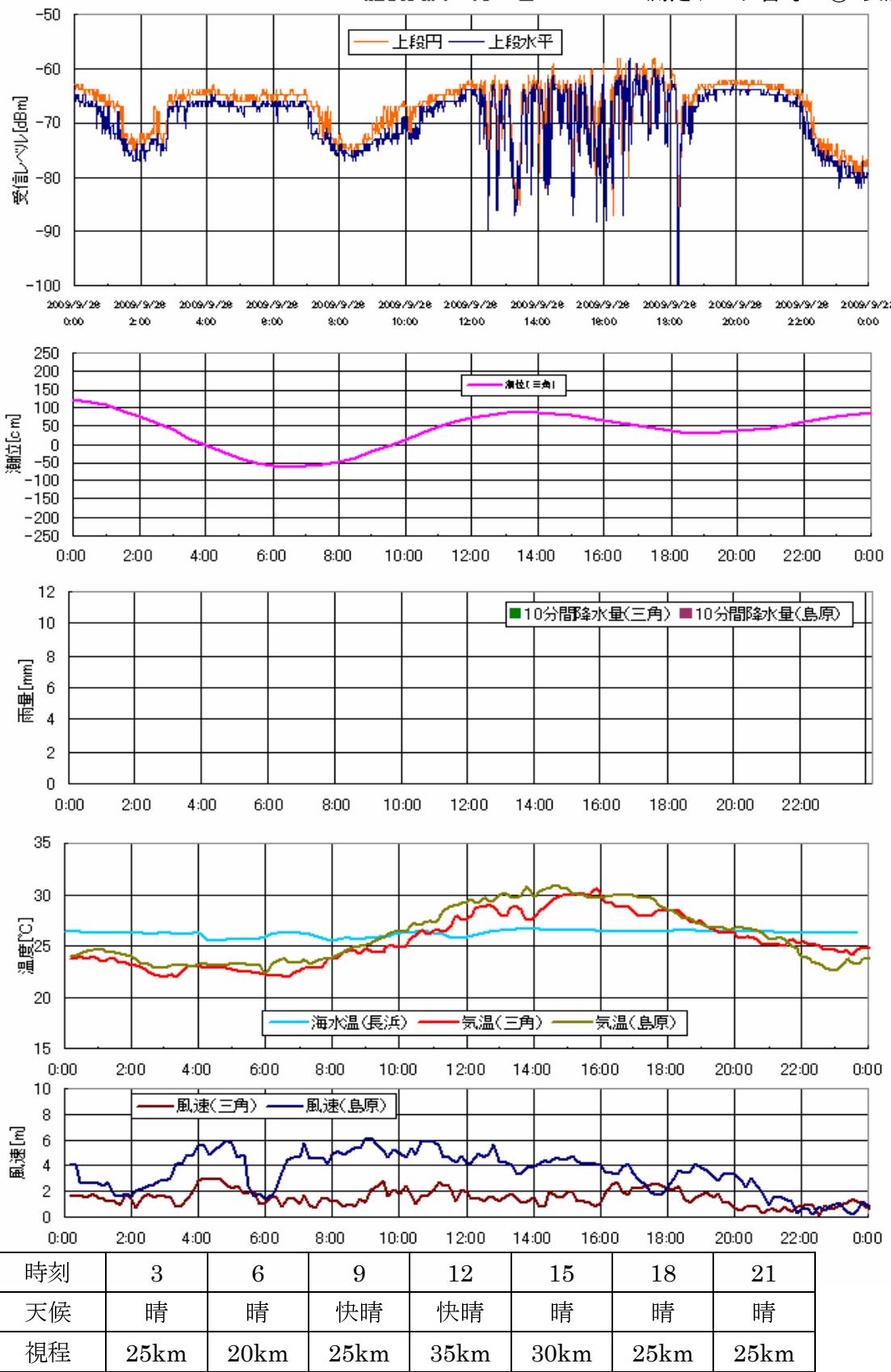
肥後長浜 9月25日

測定データ番号：⑩-長浜



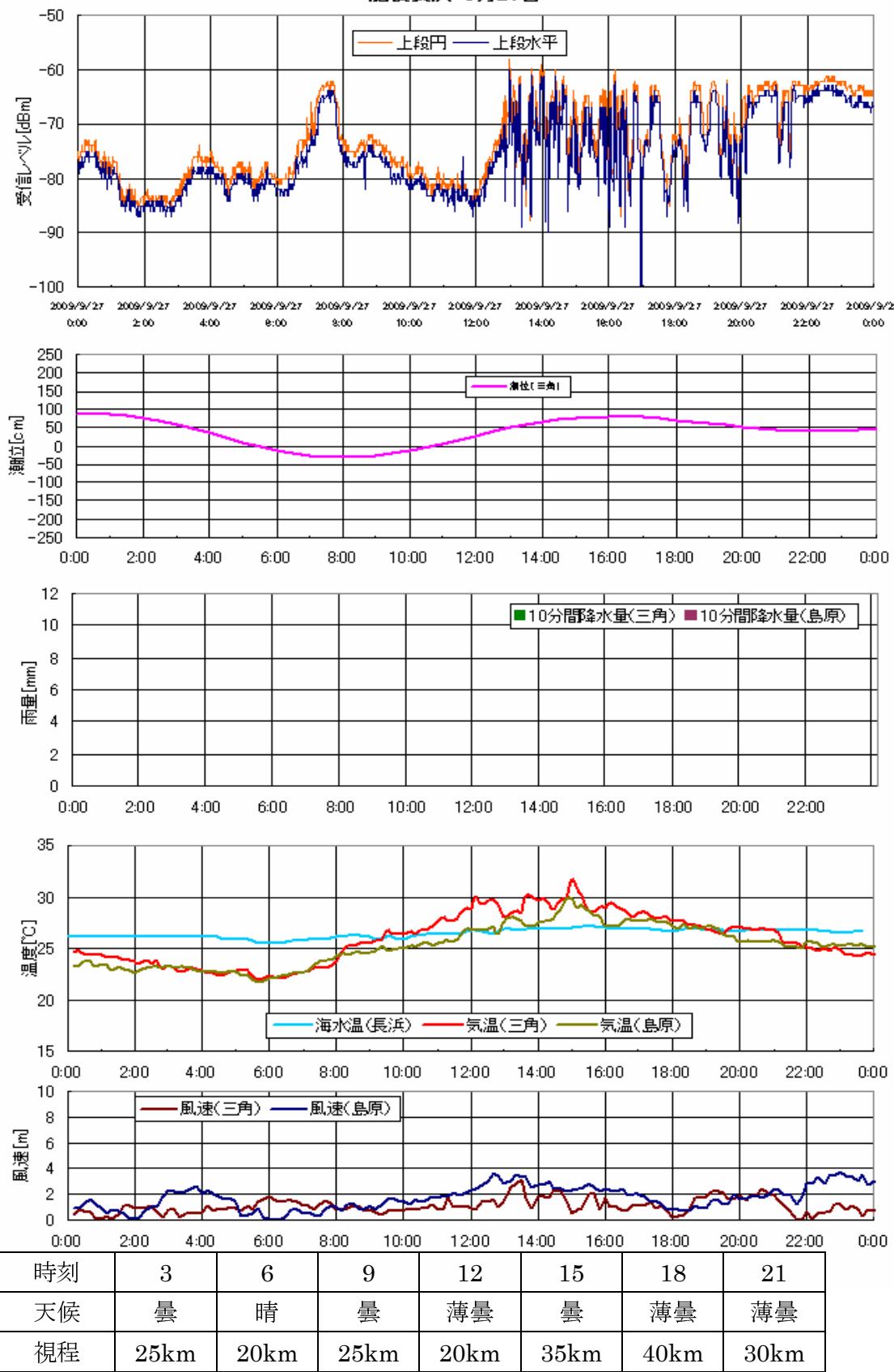
肥後長浜 9月26日

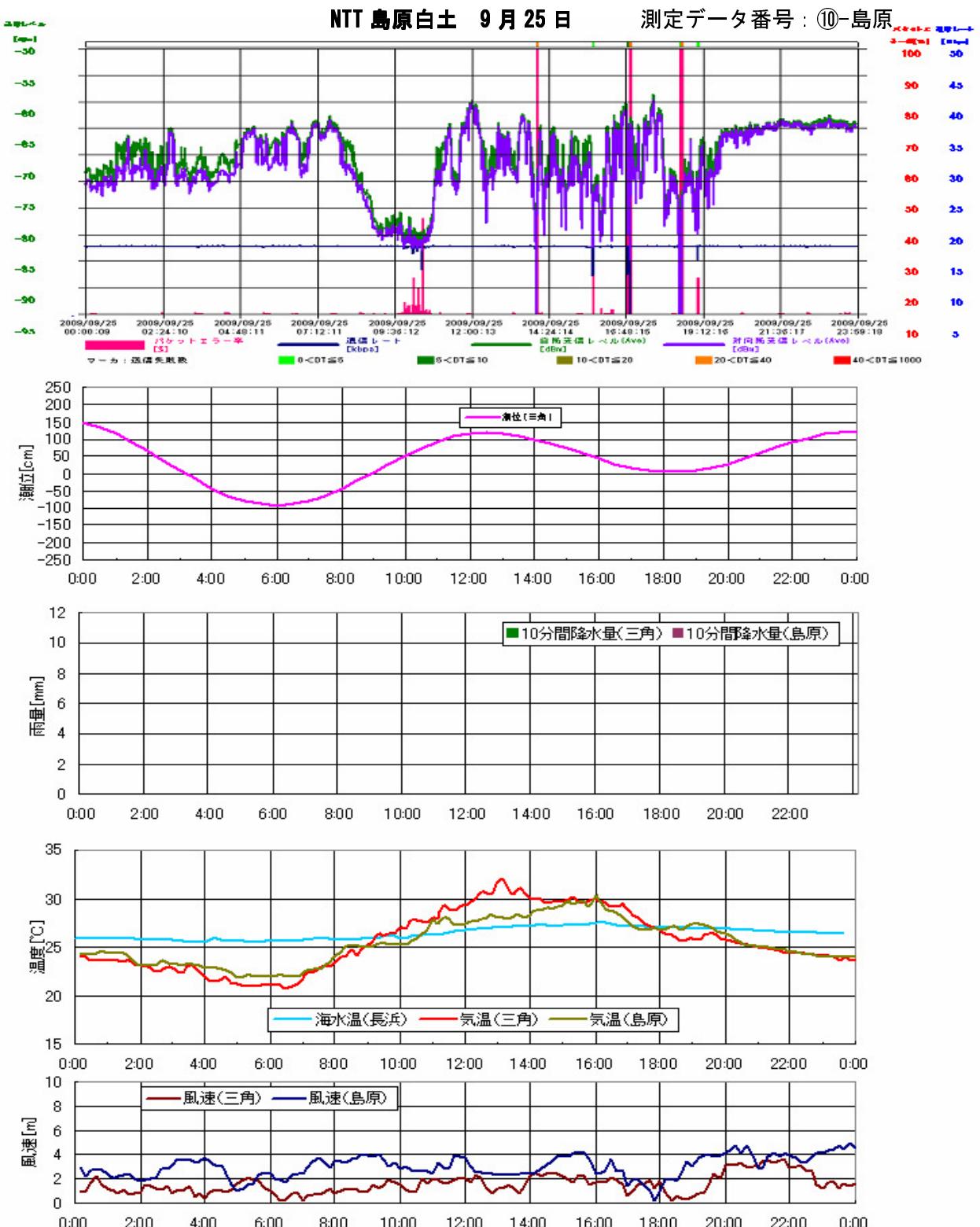
測定データ番号 : ⑩-長浜



肥後長浜 9月27日

測定データ番号：⑩-長浜

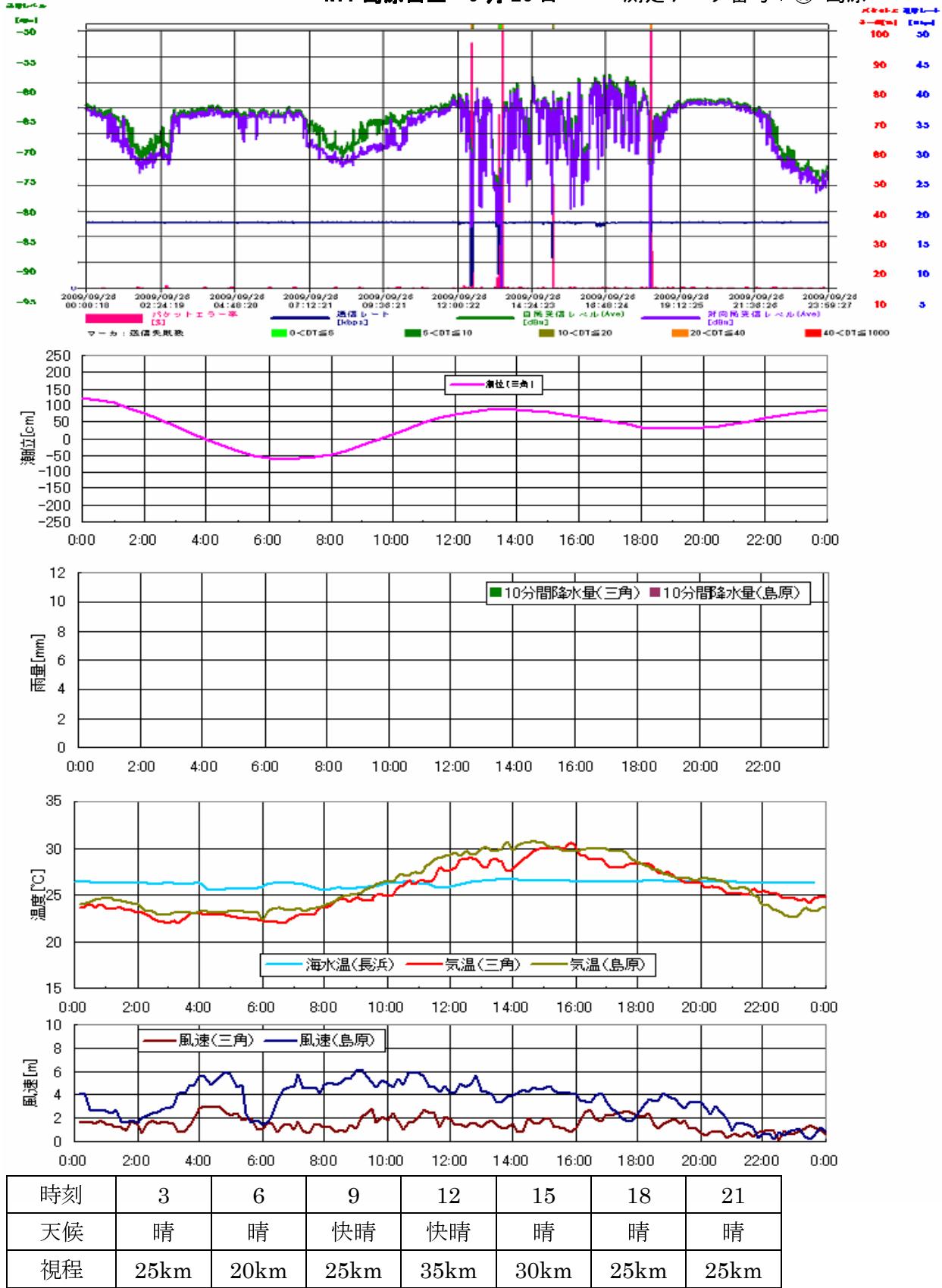


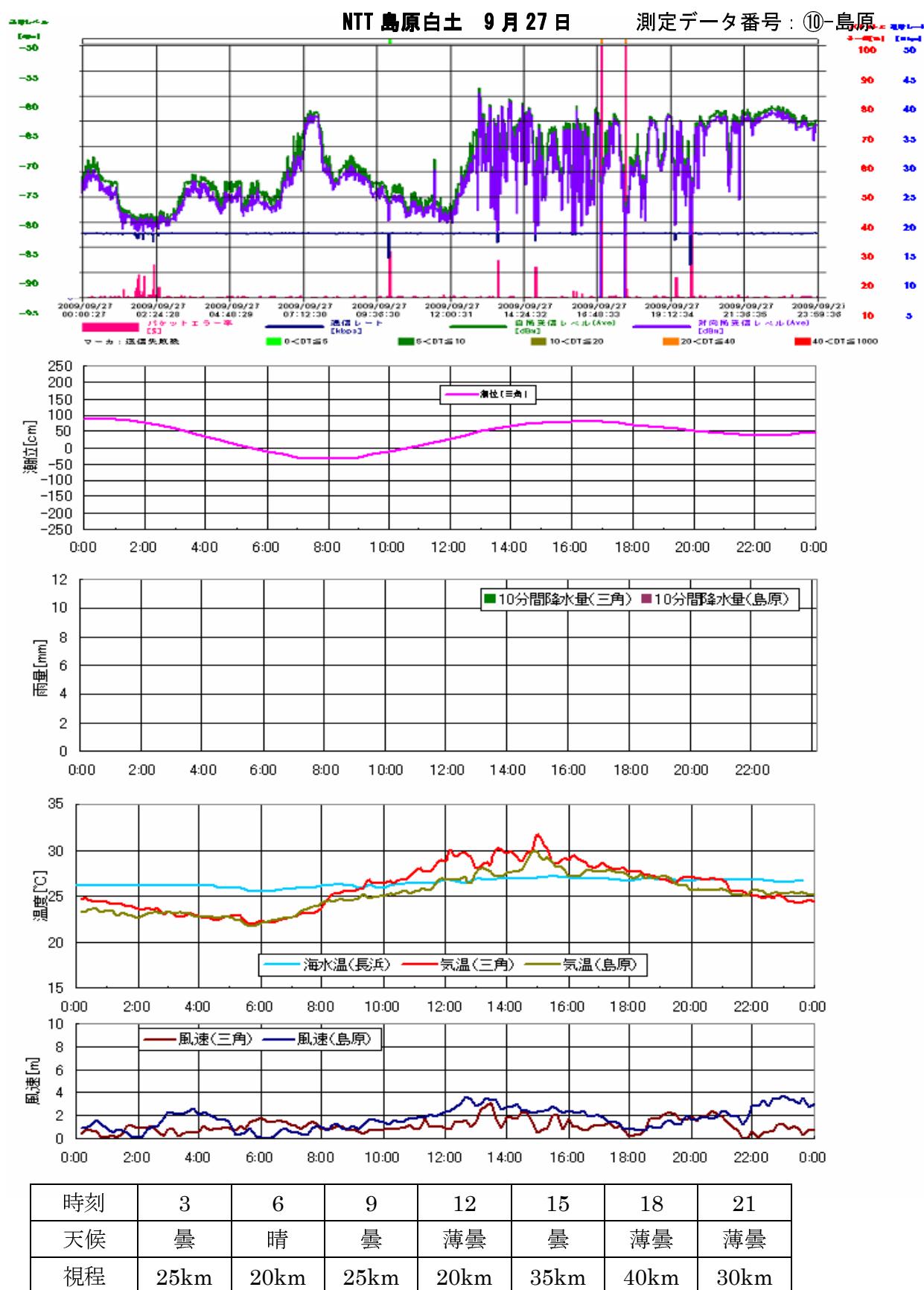


時刻	3	6	9	12	15	18	21
天候	快晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
視程	25km	20km	20km	15km	25km	30km	25km

NTT 島原白土 9月26日

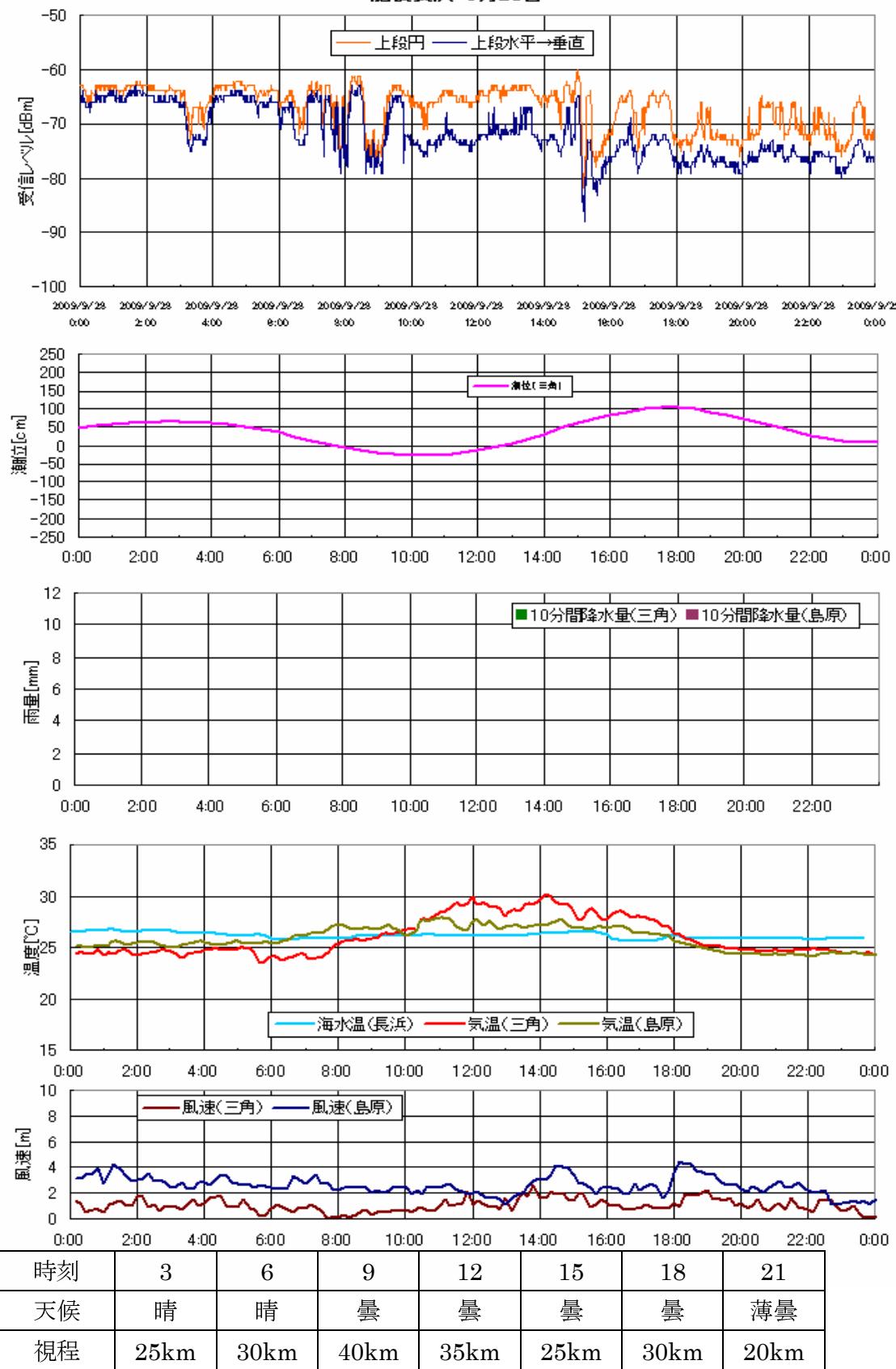
測定データ番号 : ⑩-島原





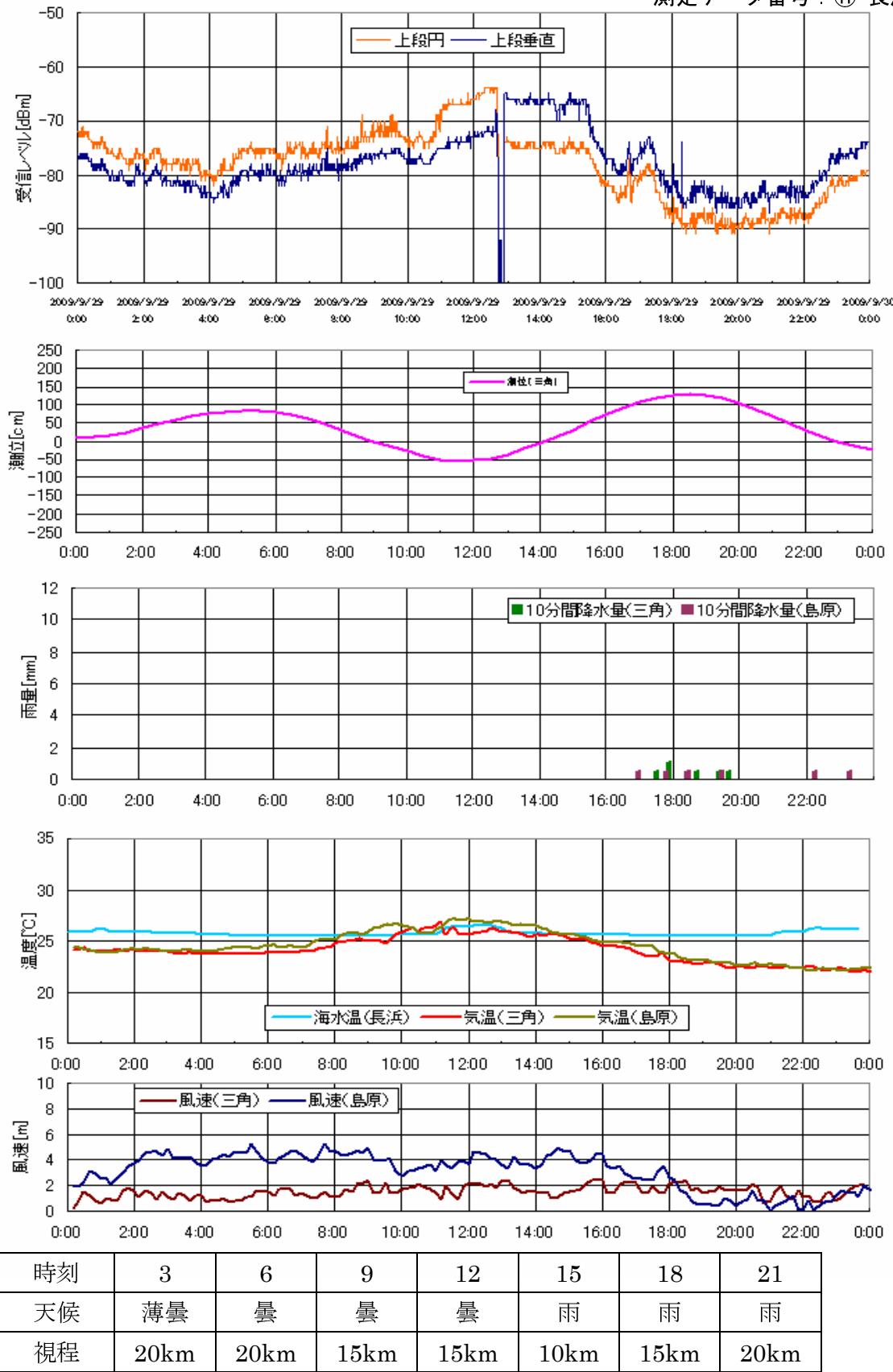
肥後長浜 9月28日

測定データ番号：⑪-長浜

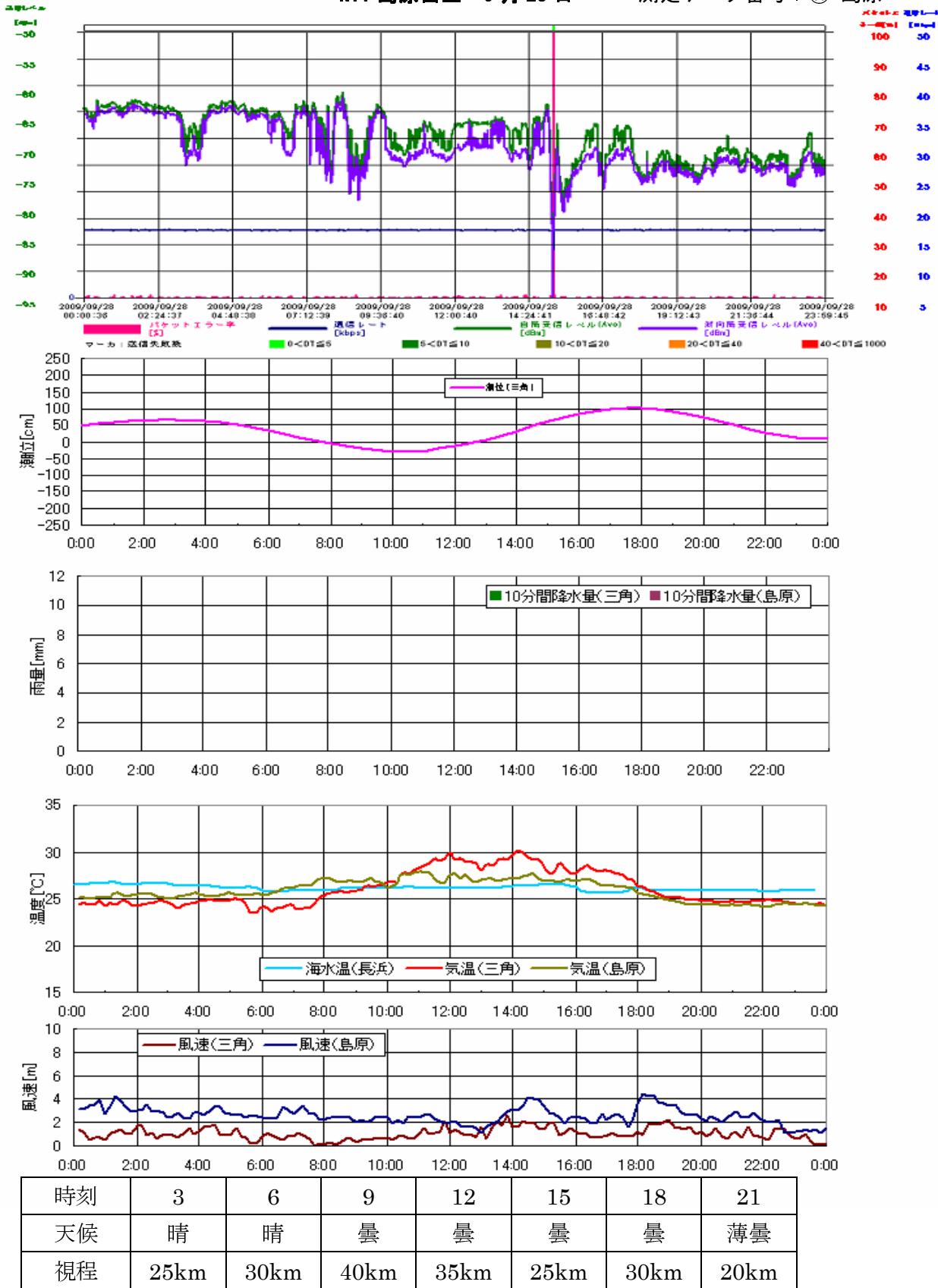


肥後長浜 9月29日

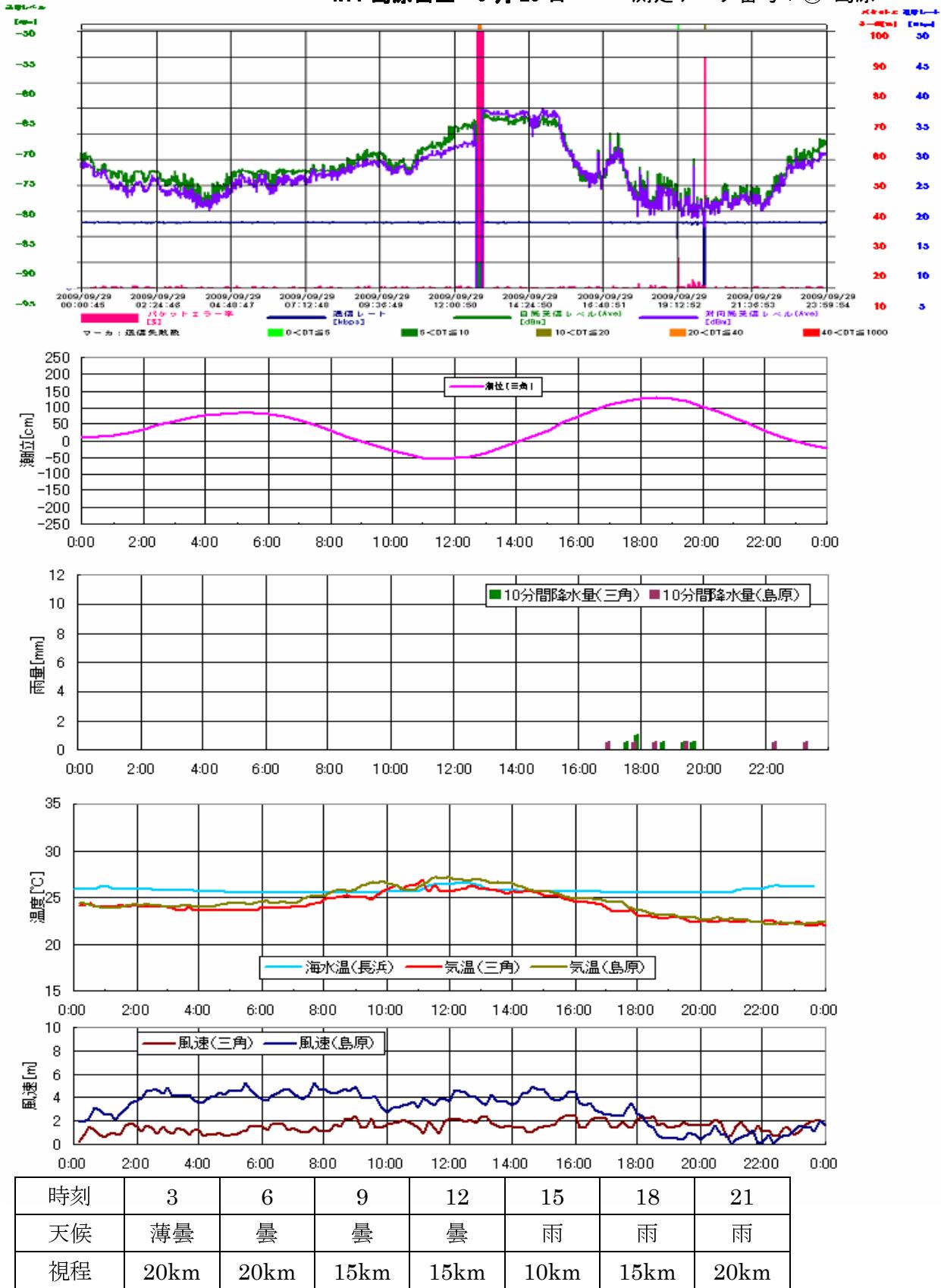
測定データ番号 : ⑪-長浜



NTT 島原白土 9月28日 測定データ番号：⑪-島原

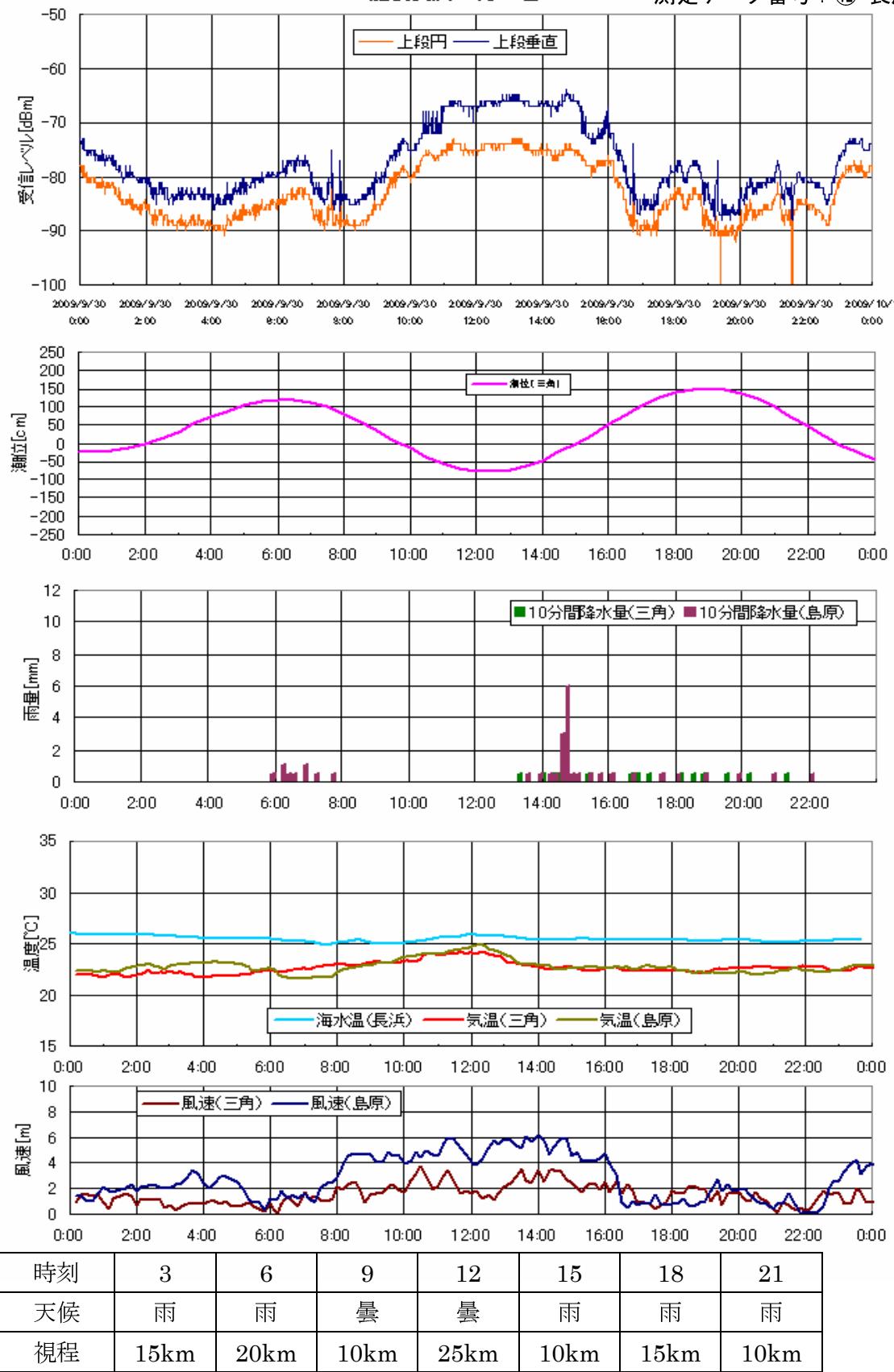


NTT 島原白土 9月29日 測定データ番号：⑪-島原



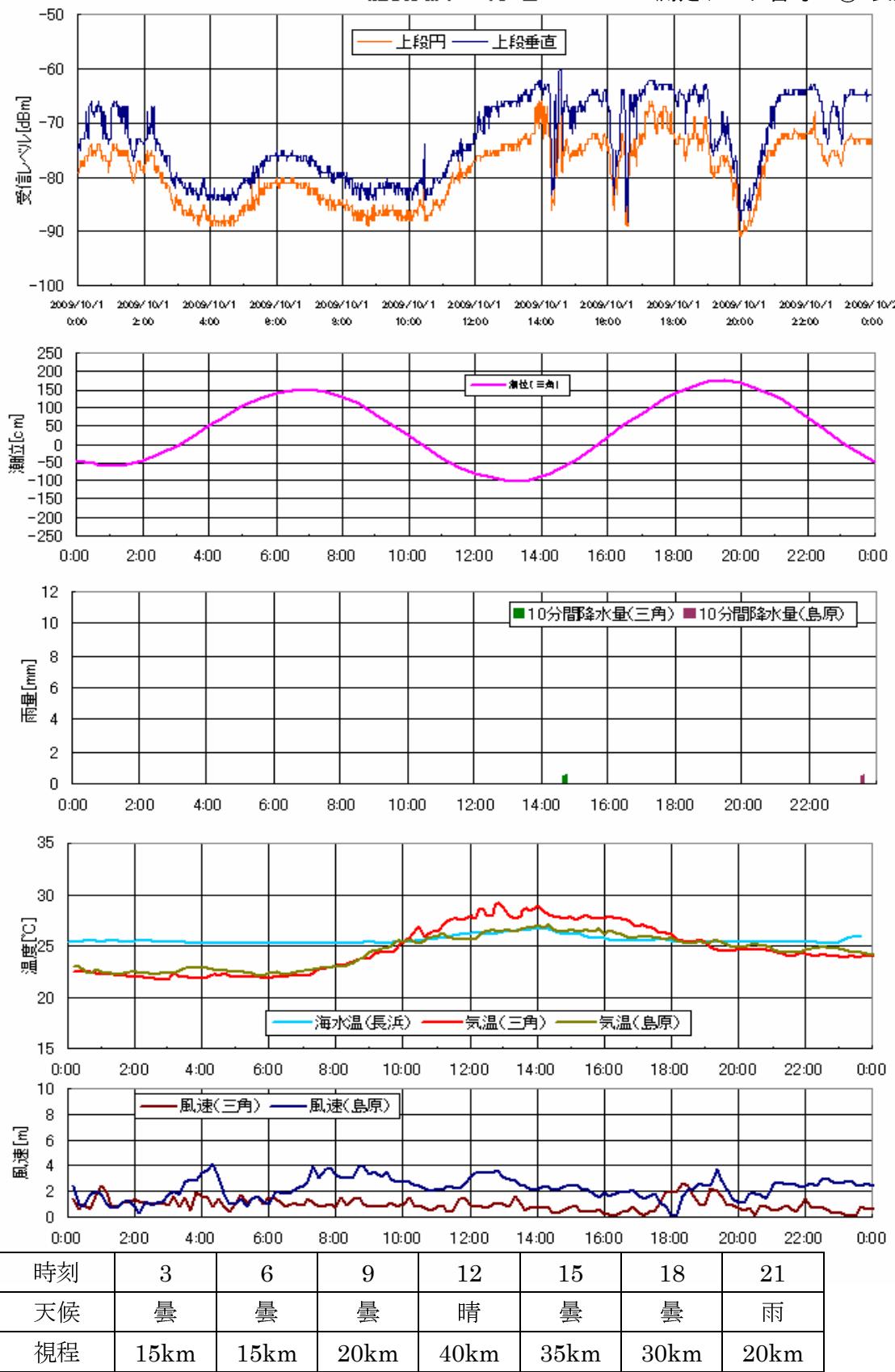
肥後長浜 9月30日

測定データ番号 : ⑫-長浜



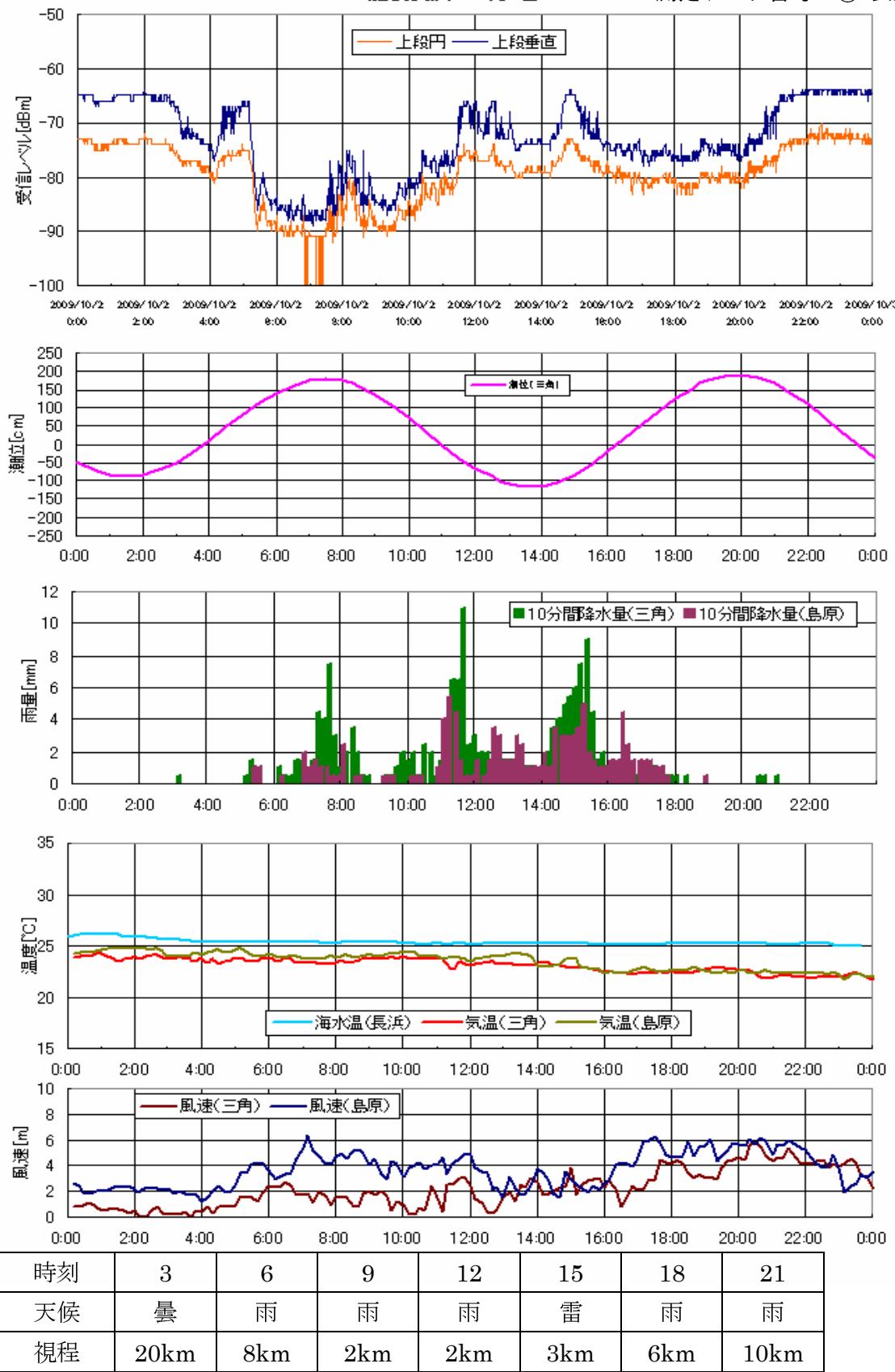
肥後長浜 10月1日

測定データ番号 : ⑫-長浜



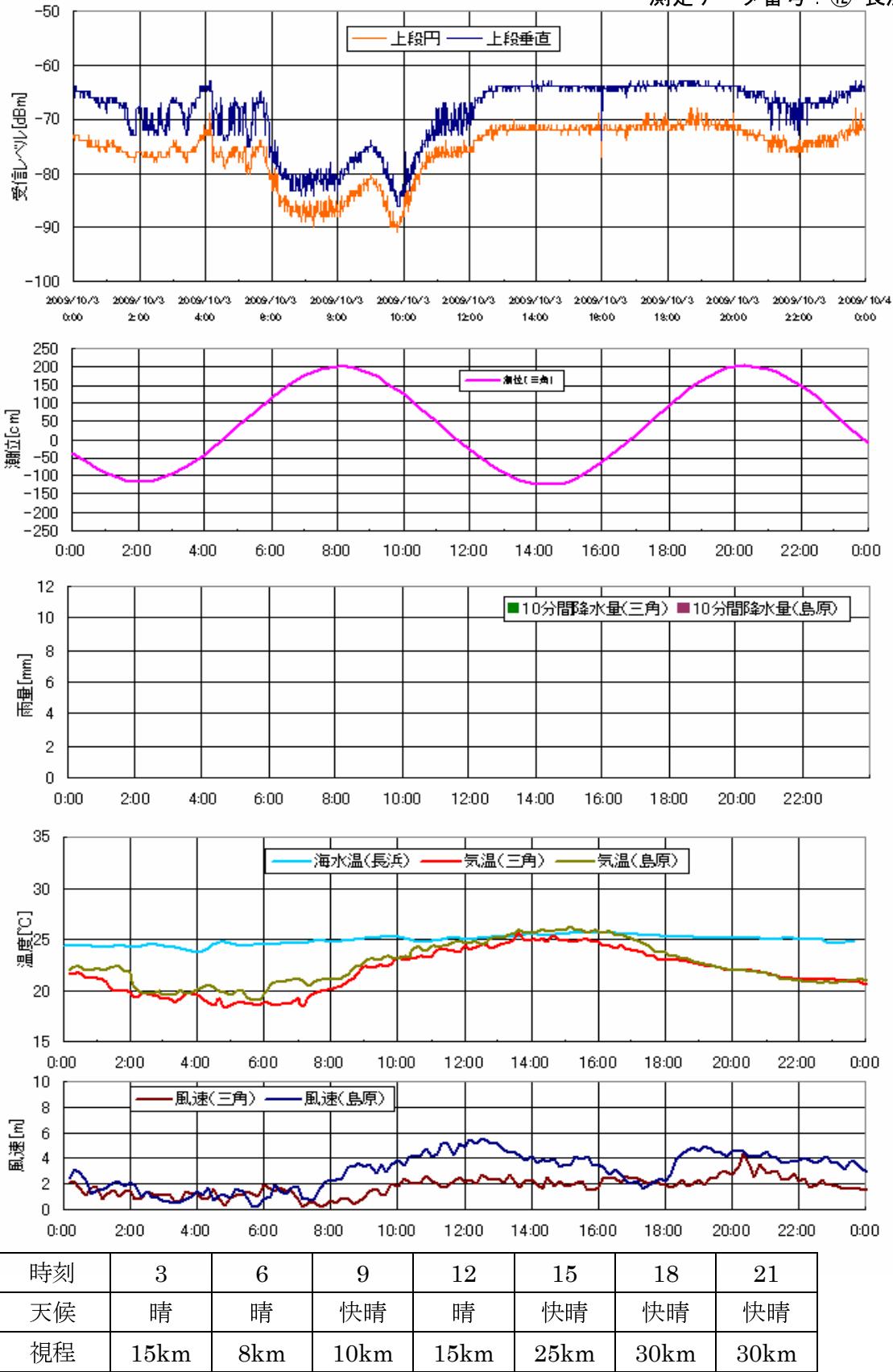
肥後長浜 10月2日

測定データ番号 : ⑫-長浜



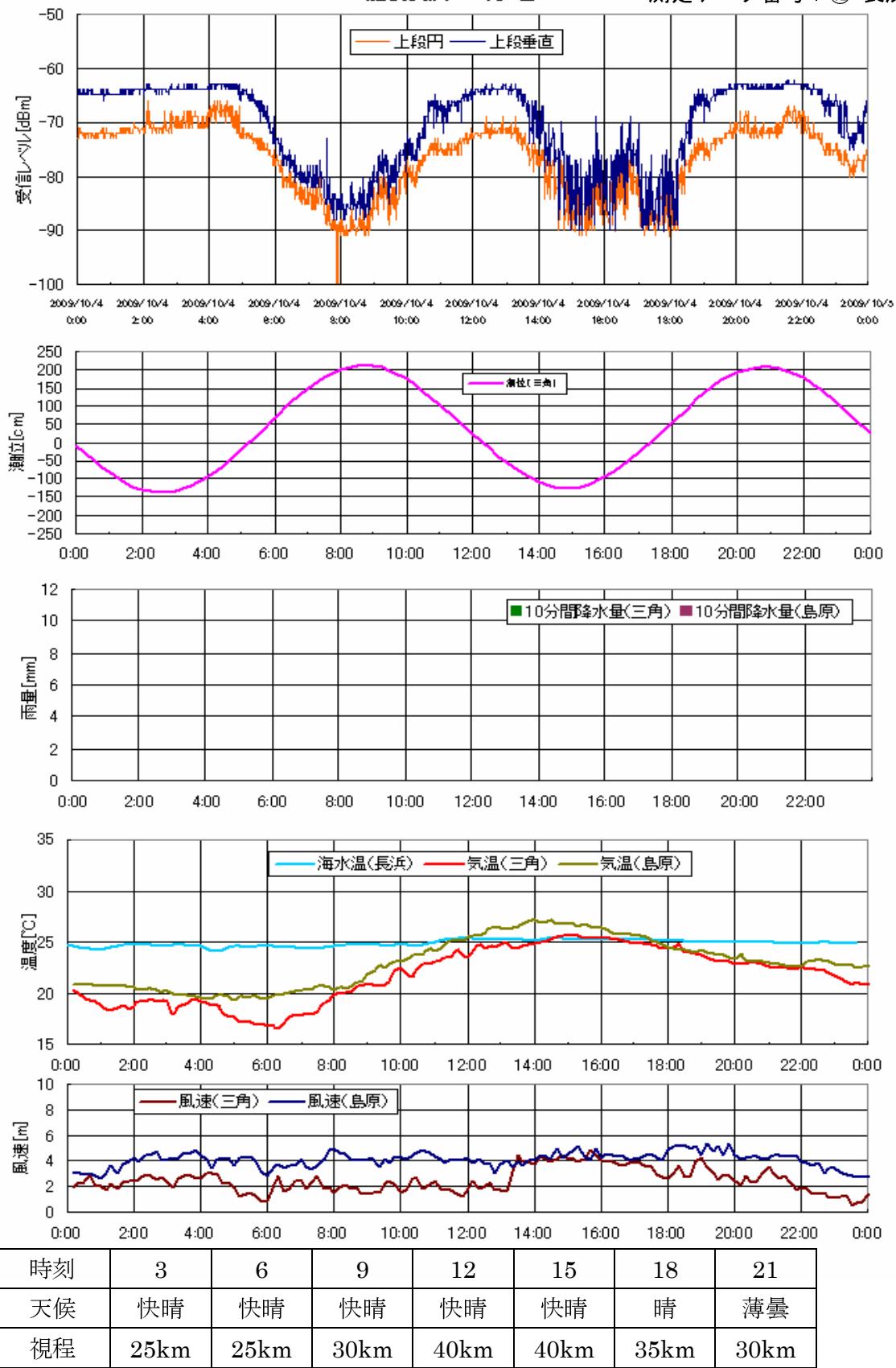
肥後長浜 10月3日

測定データ番号 : ⑫-長浜



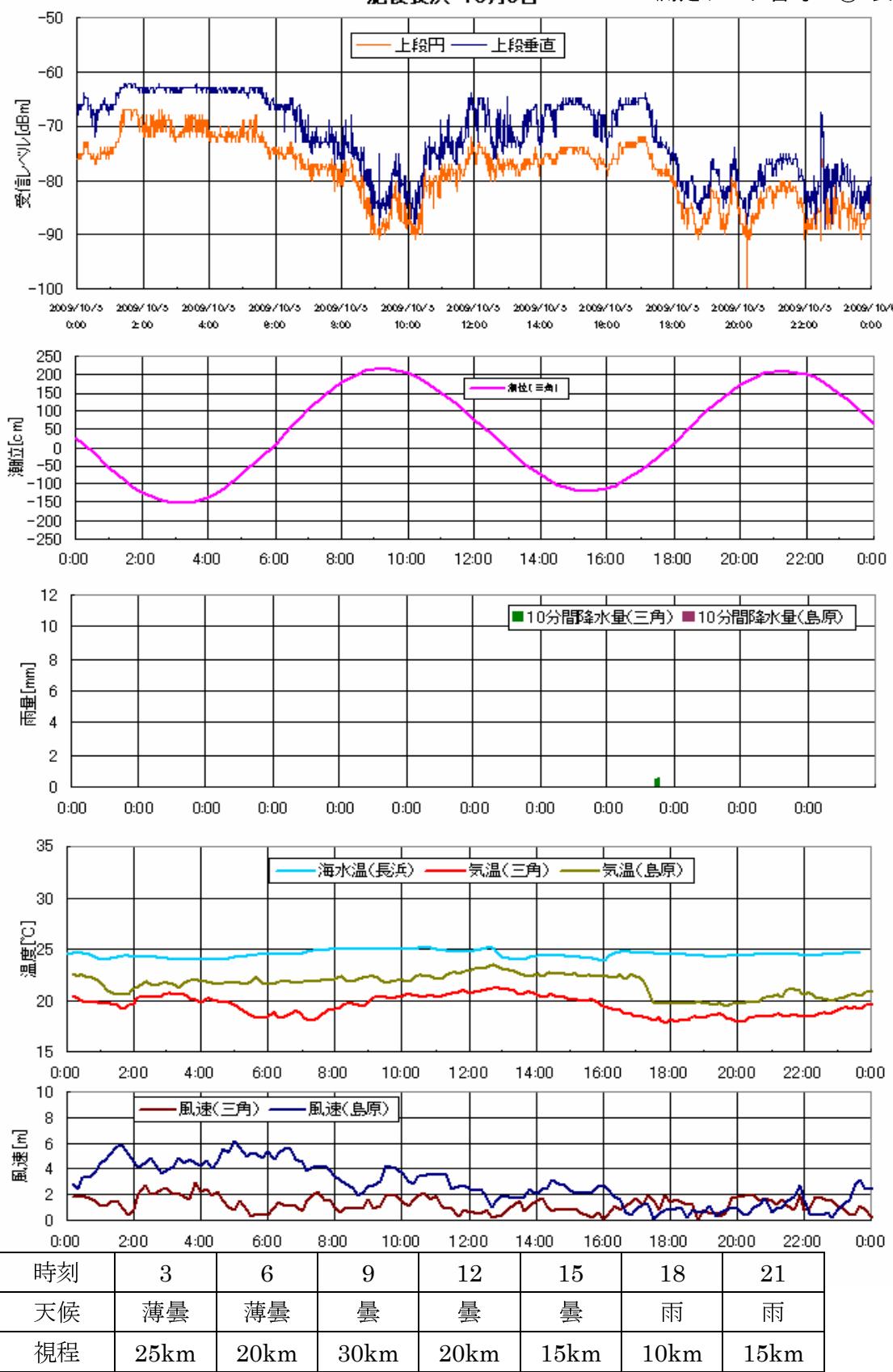
肥後長浜 10月4日

測定データ番号 : ⑫-長浜



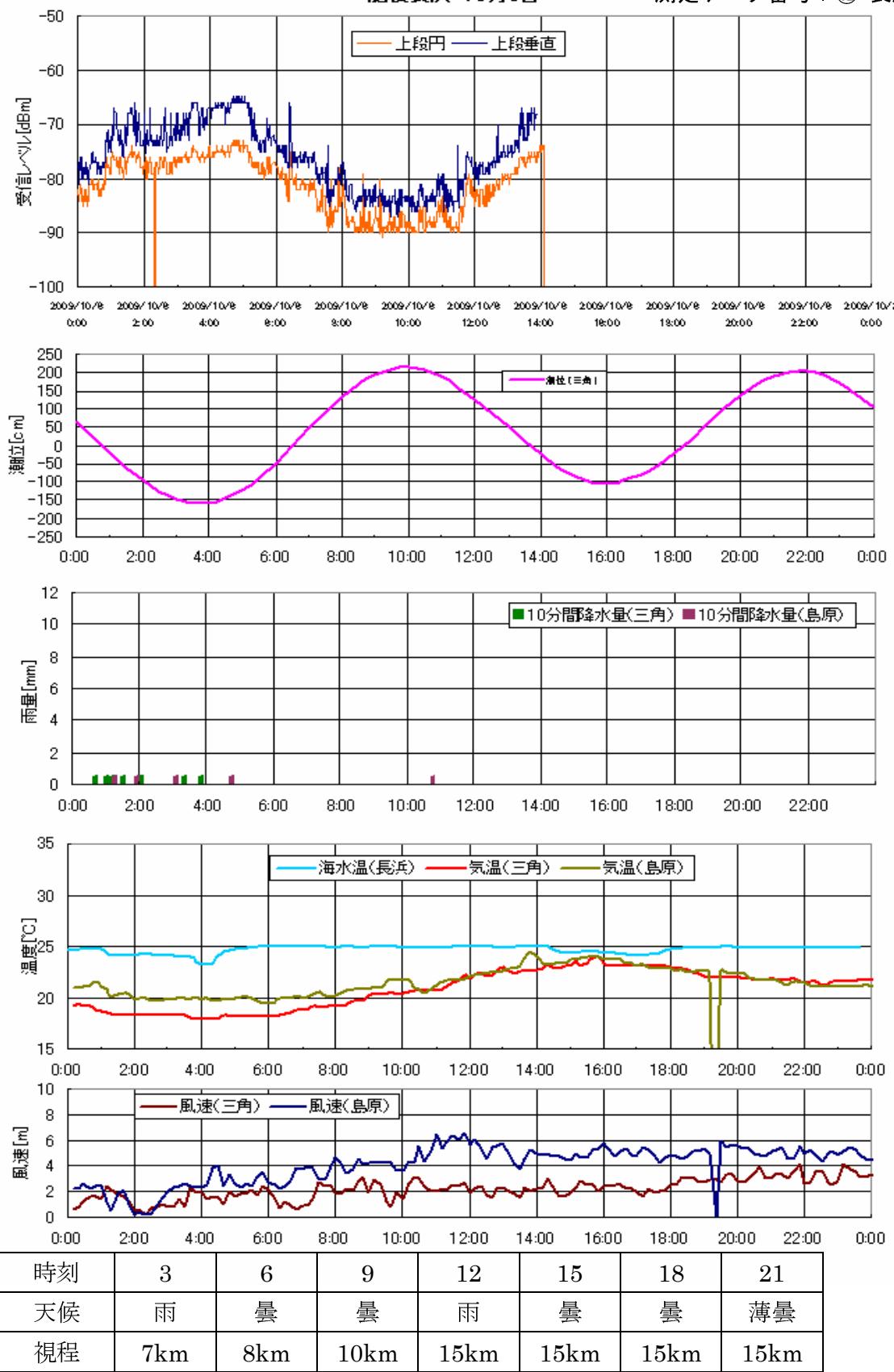
肥後長浜 10月5日

測定データ番号 : ⑫-長浜

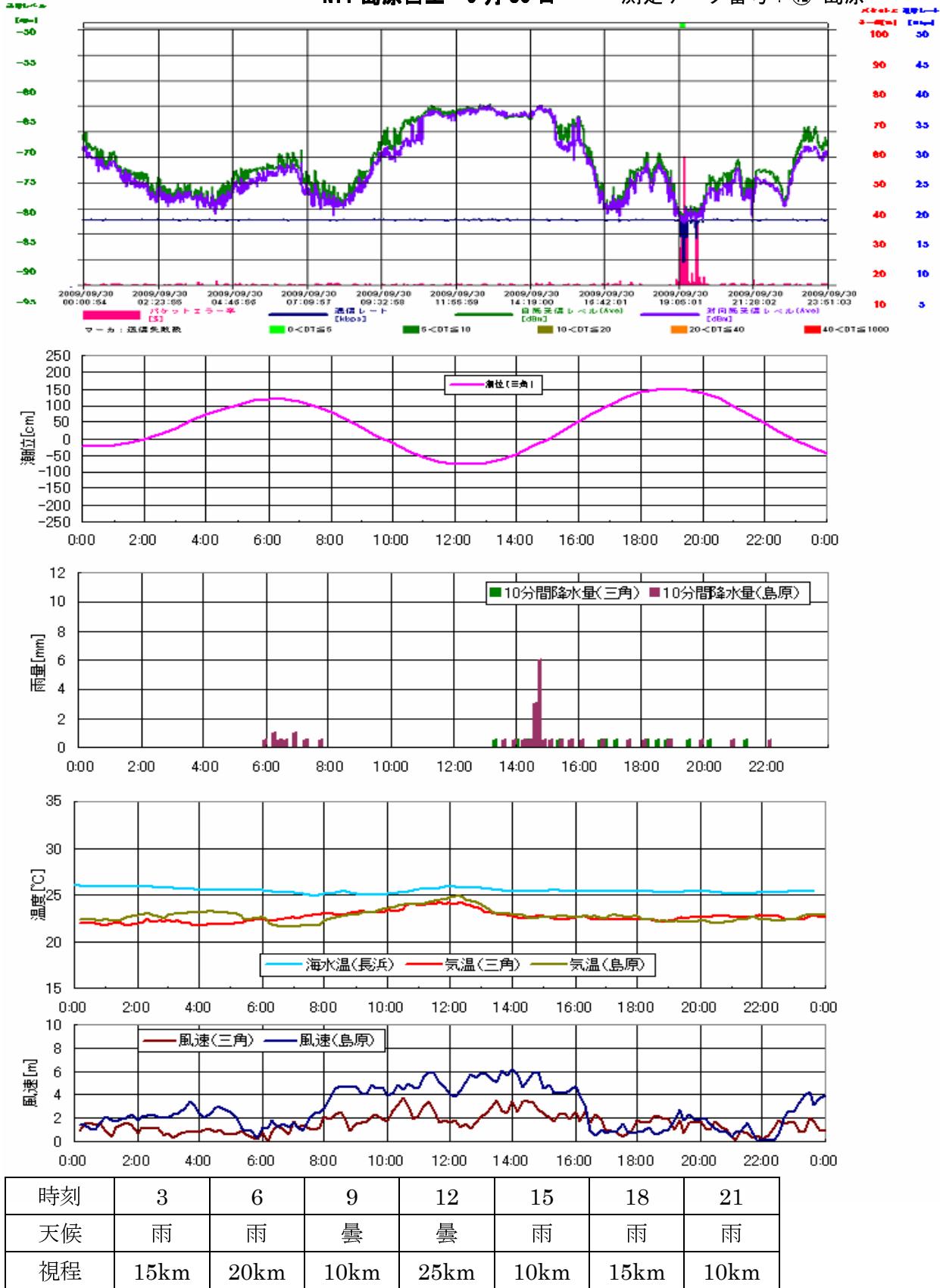


肥後長浜 10月6日

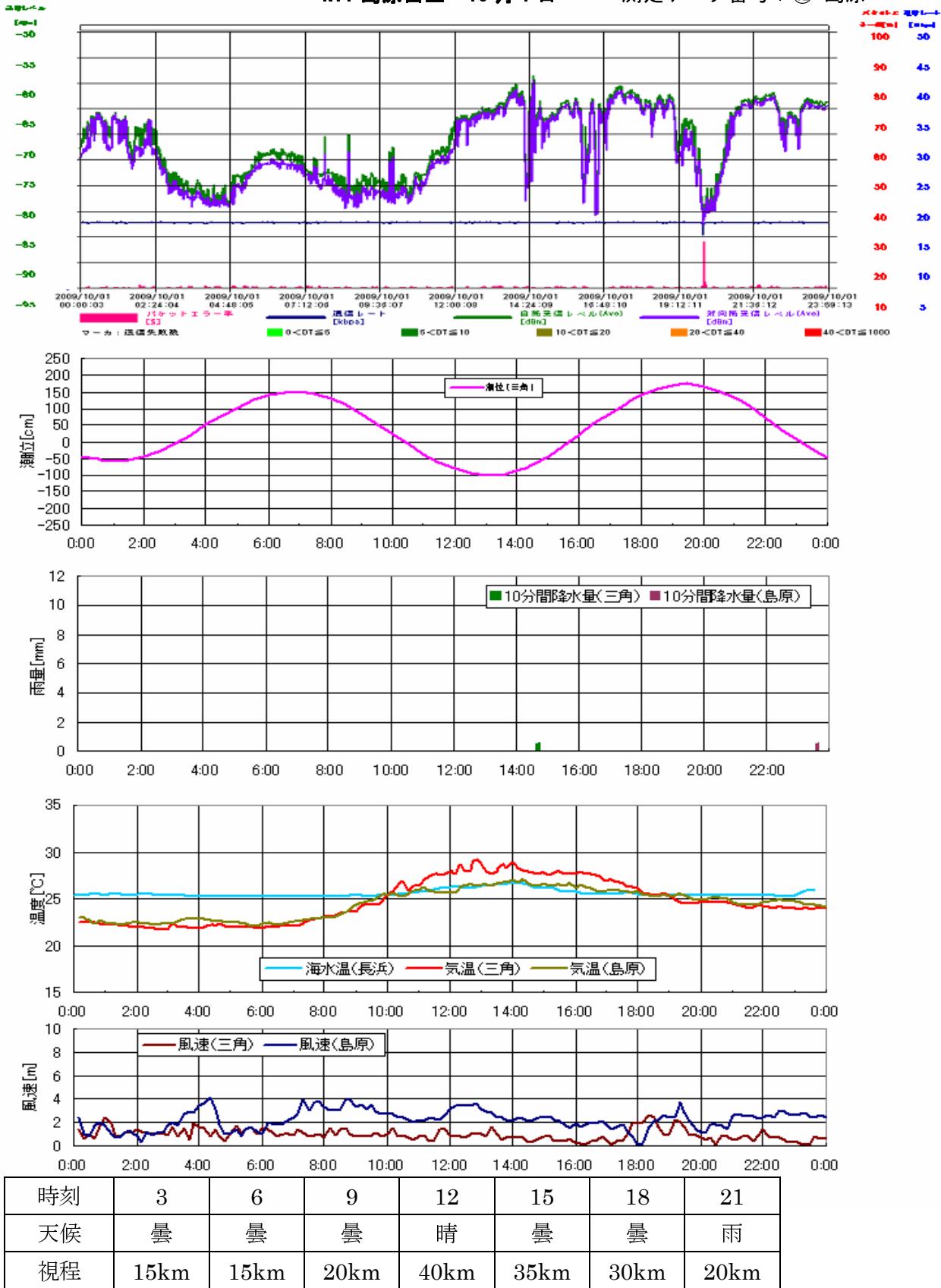
測定データ番号 : ⑫-長浜



NTT 島原白土 9月30日 測定データ番号：⑫-島原

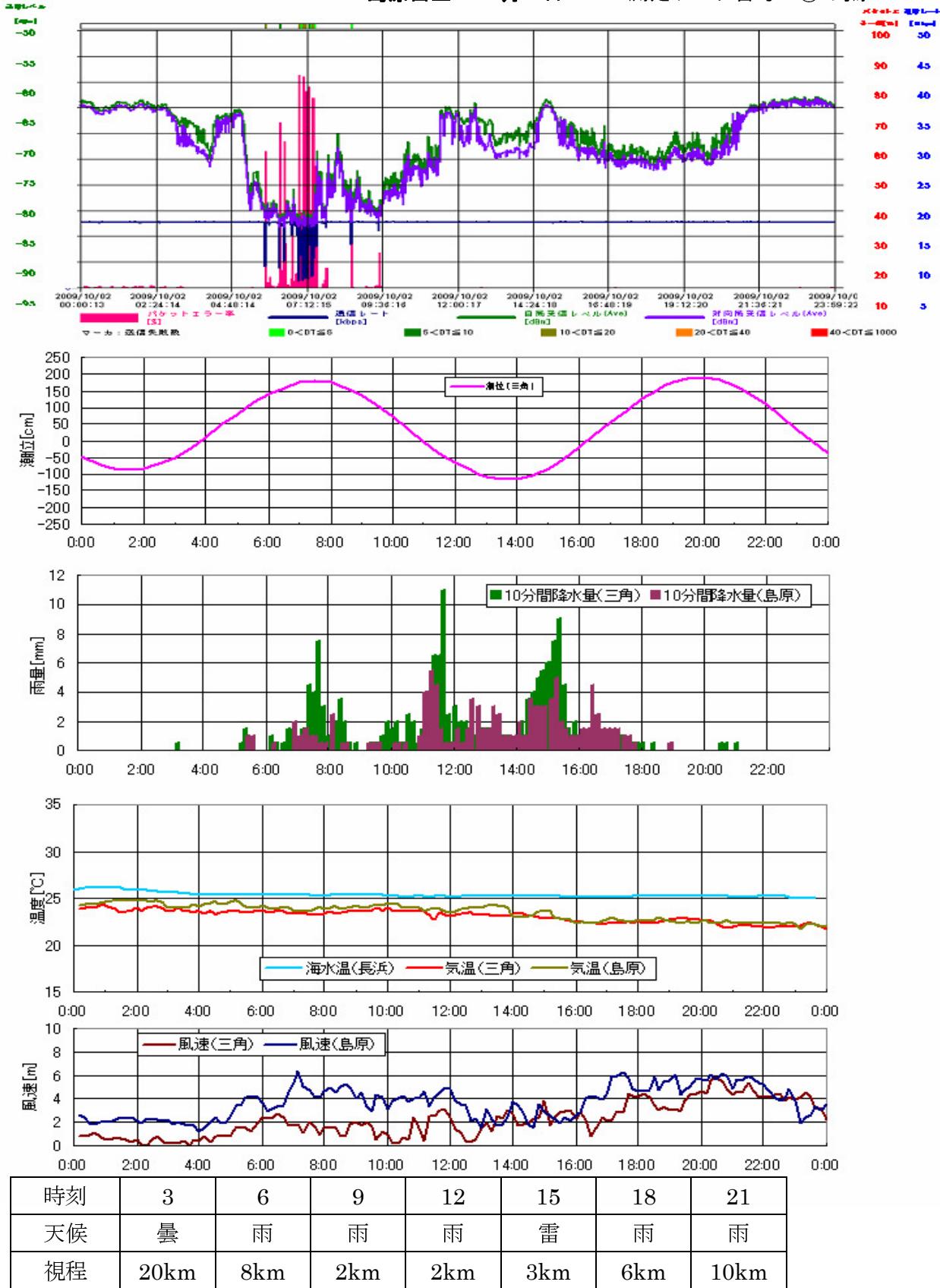


NTT 島原白土 10月1日 測定データ番号：⑫-島原



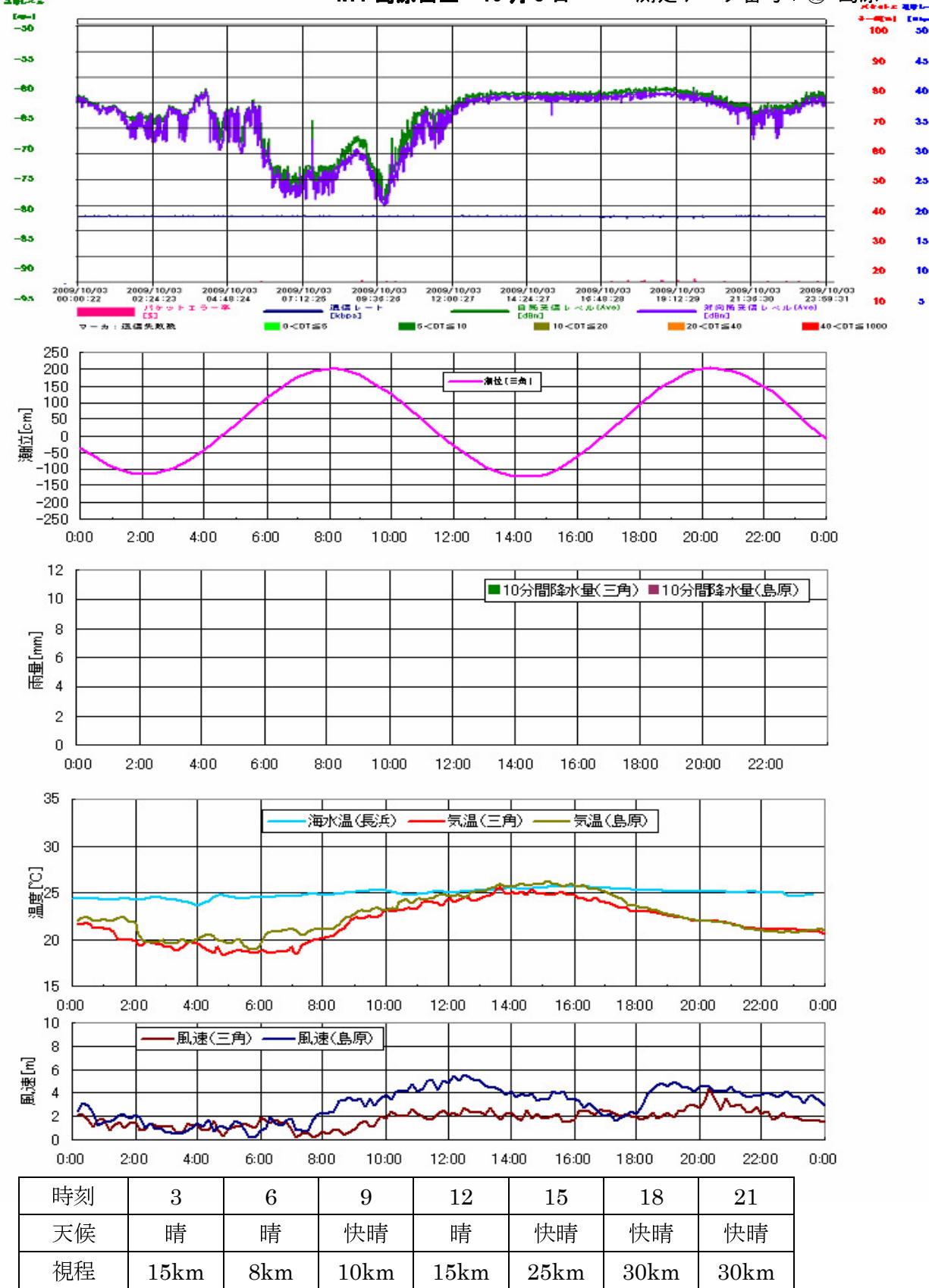
NTT 島原白土 10月2日

測定データ番号 : ⑫-島原

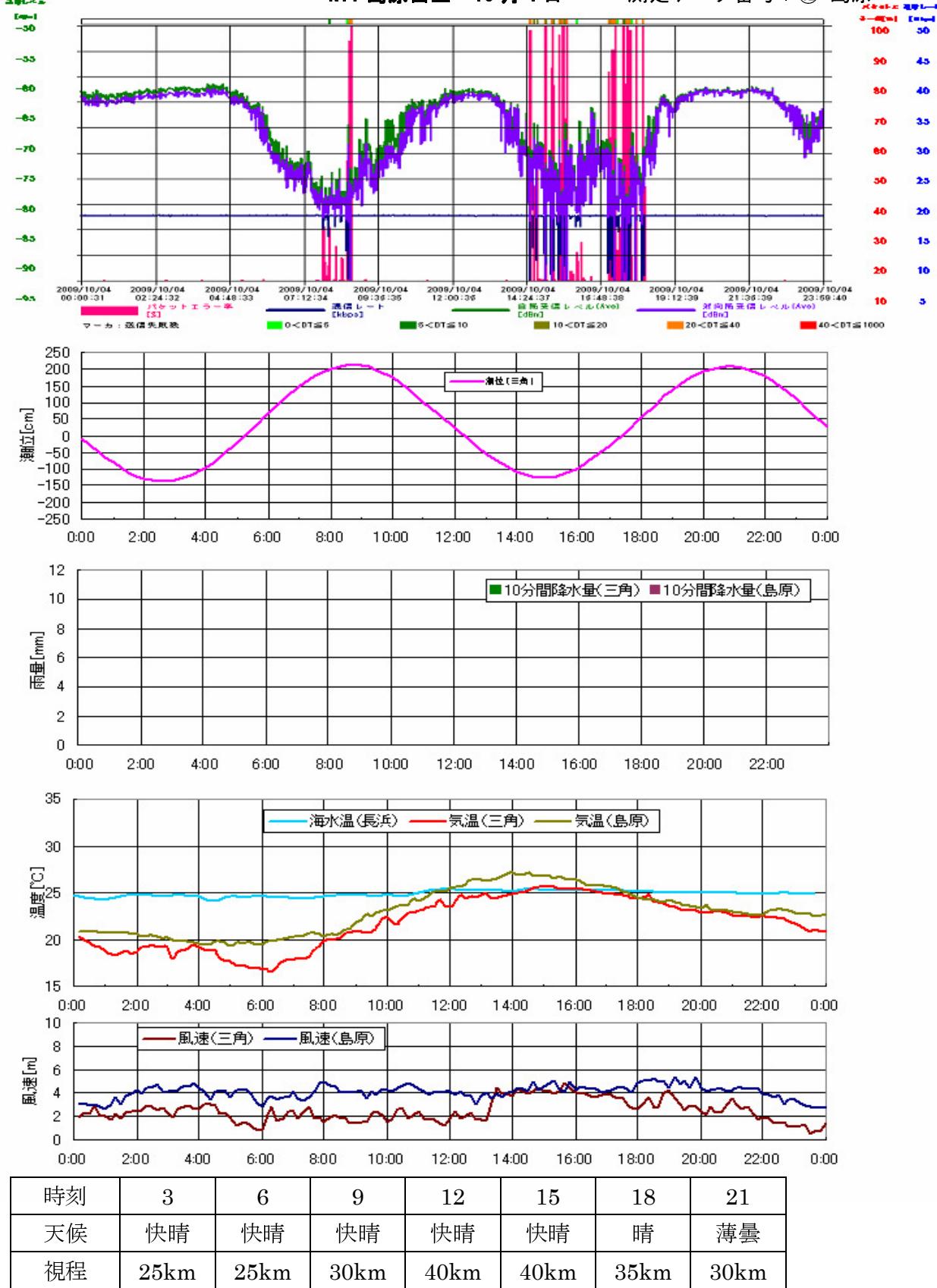


NTT 島原白土 10月3日

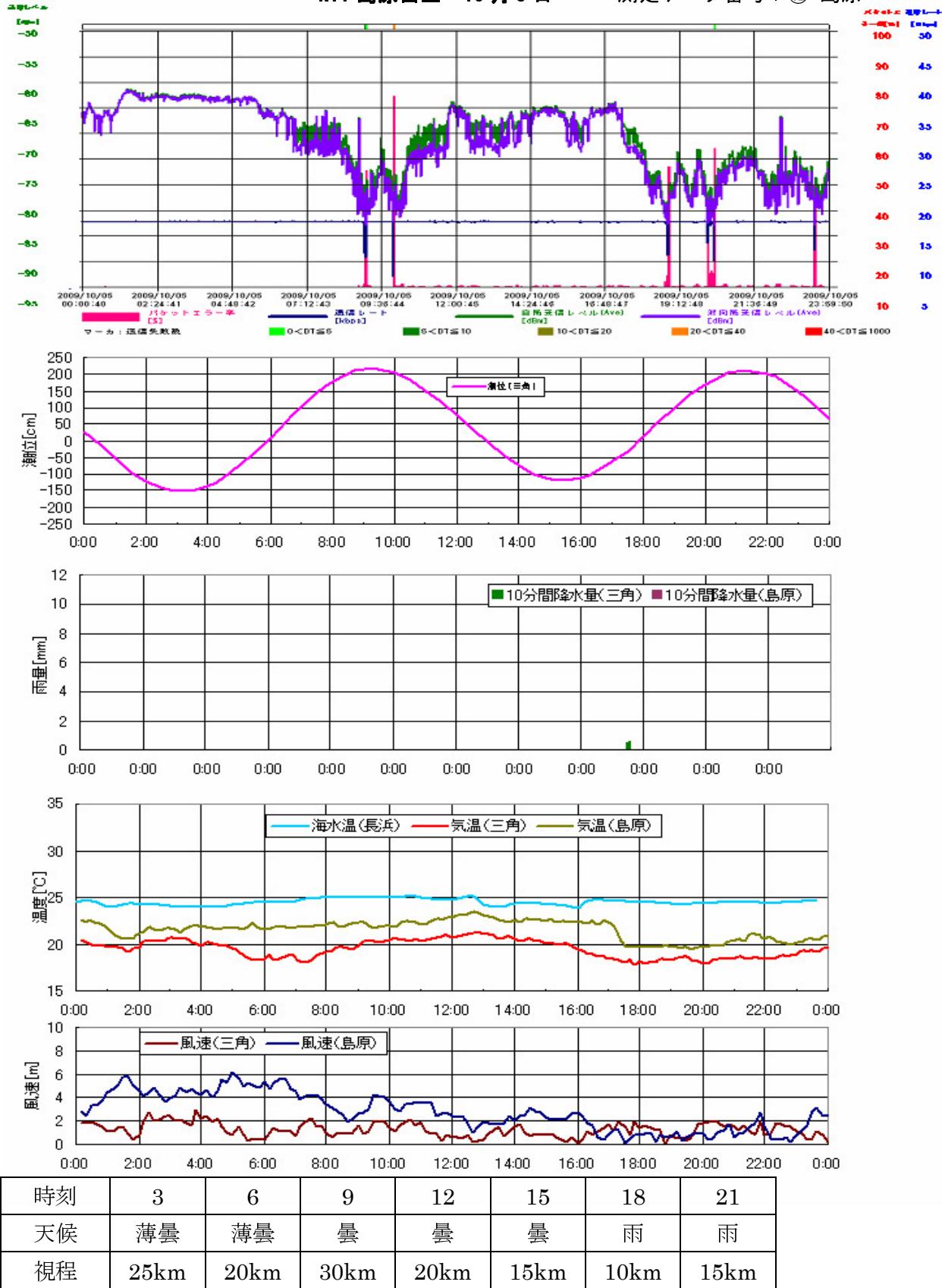
測定データ番号 : ⑫-島原



NTT 島原白土 10月4日 測定データ番号：⑫-島原

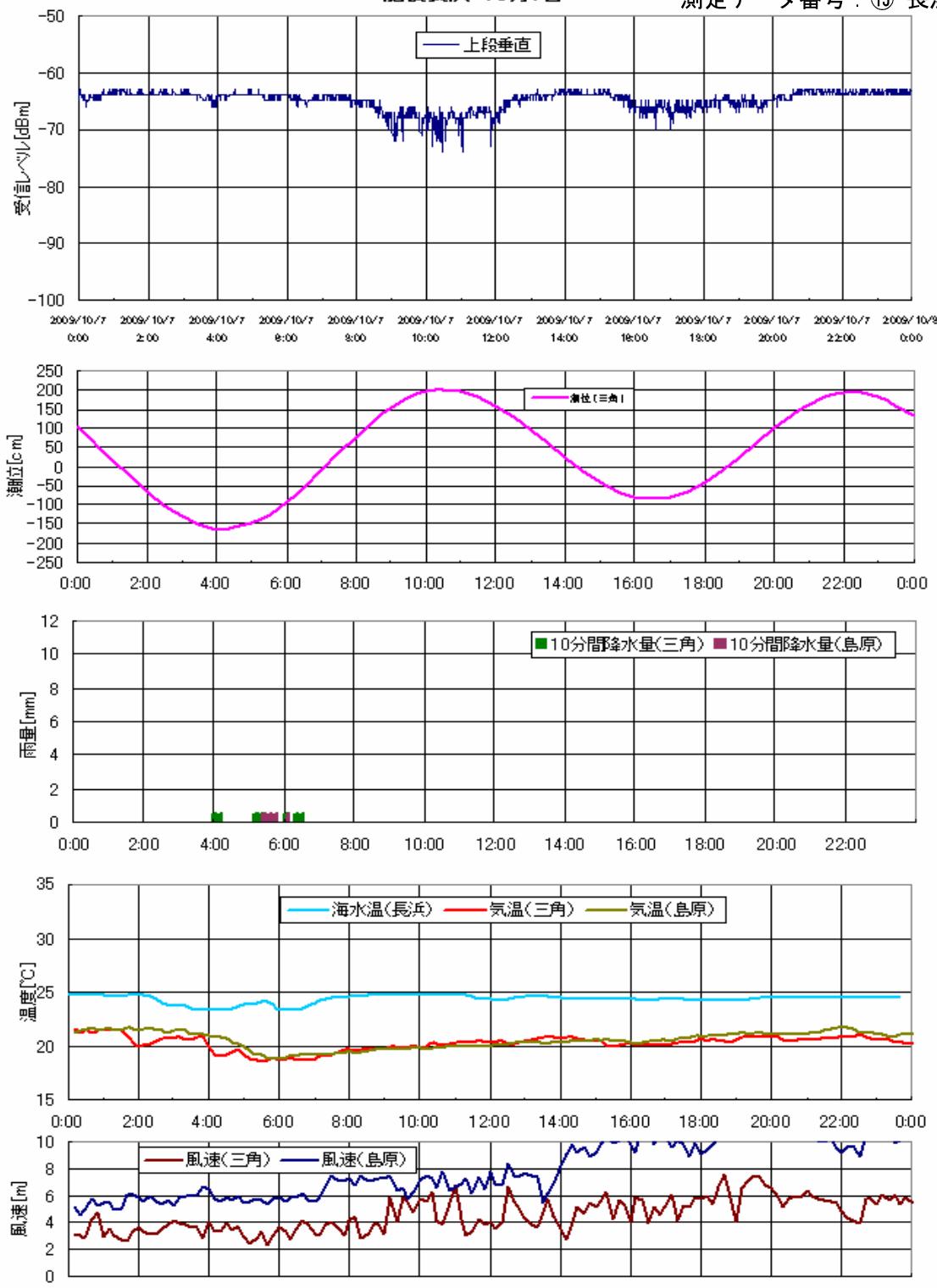


NTT 島原白土 10月5日 測定データ番号：⑫-島原



肥後長浜 10月7日

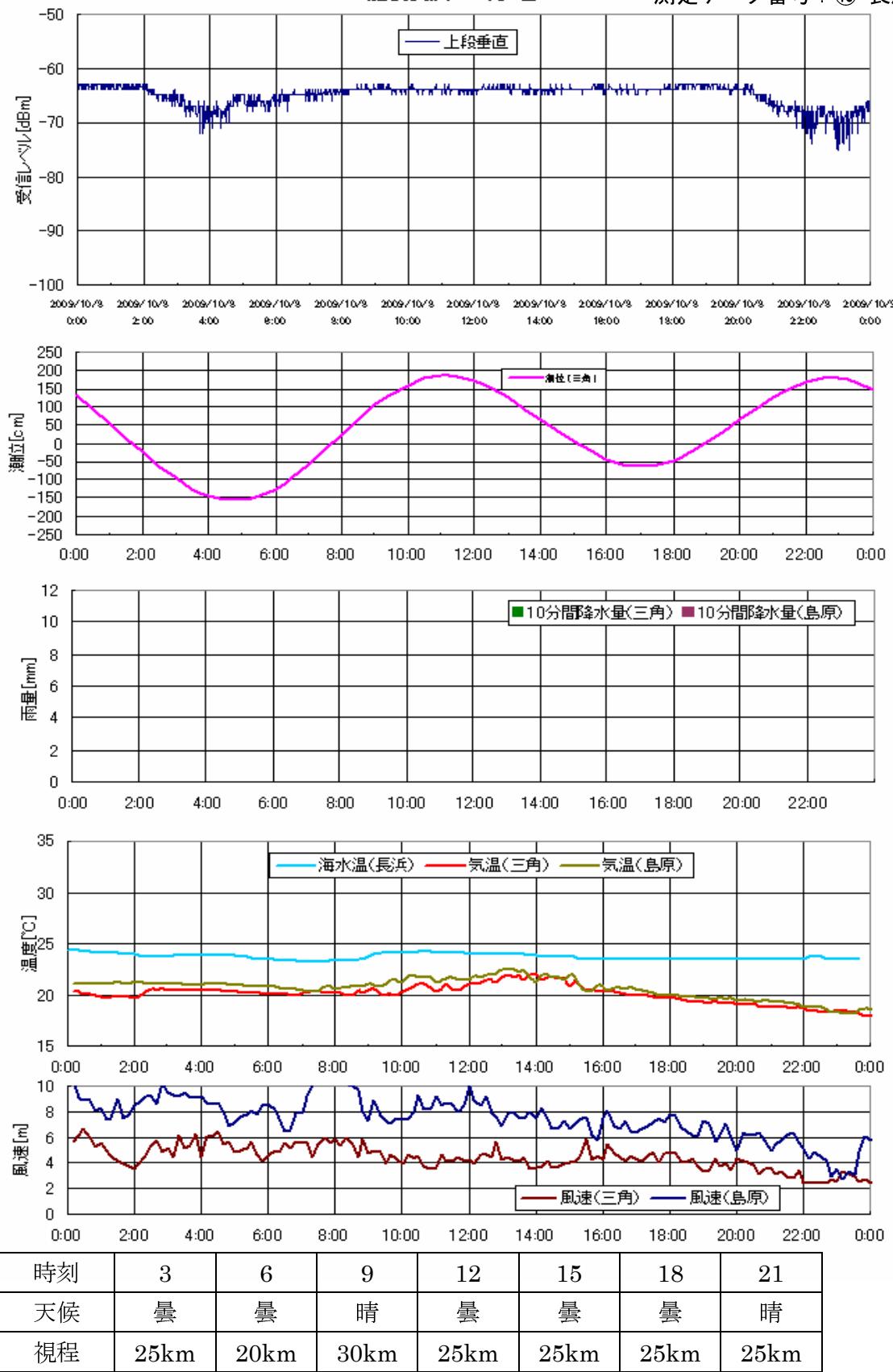
測定データ番号 : ⑬-長浜



時刻	3	6	9	12	15	18	21
天候	雨	雨	雨	雨	雨	曇	曇
視程	15km	15km	15km	25km	25km	25km	25km

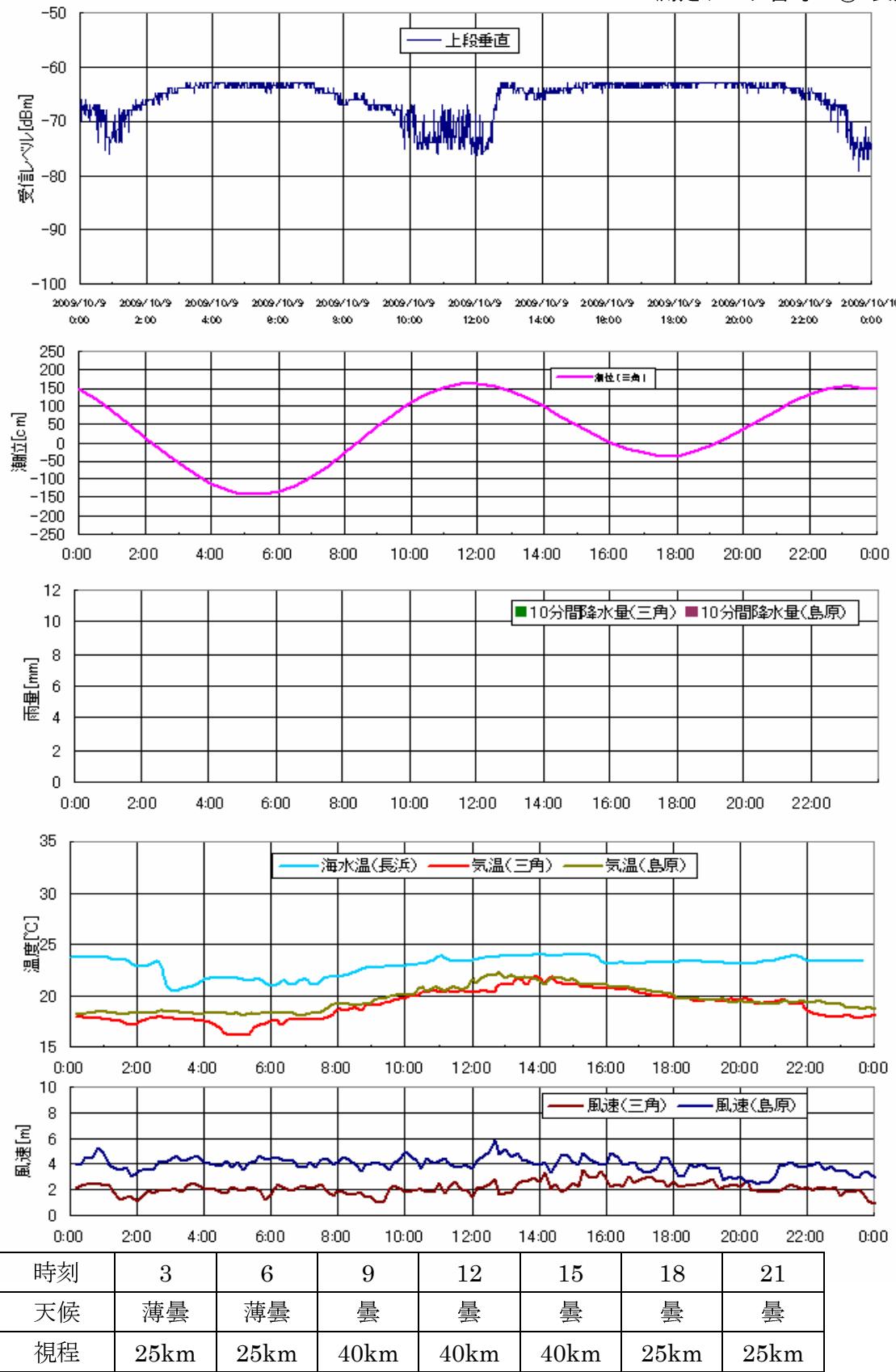
肥後長浜 10月8日

測定データ番号 : ⑬-長浜



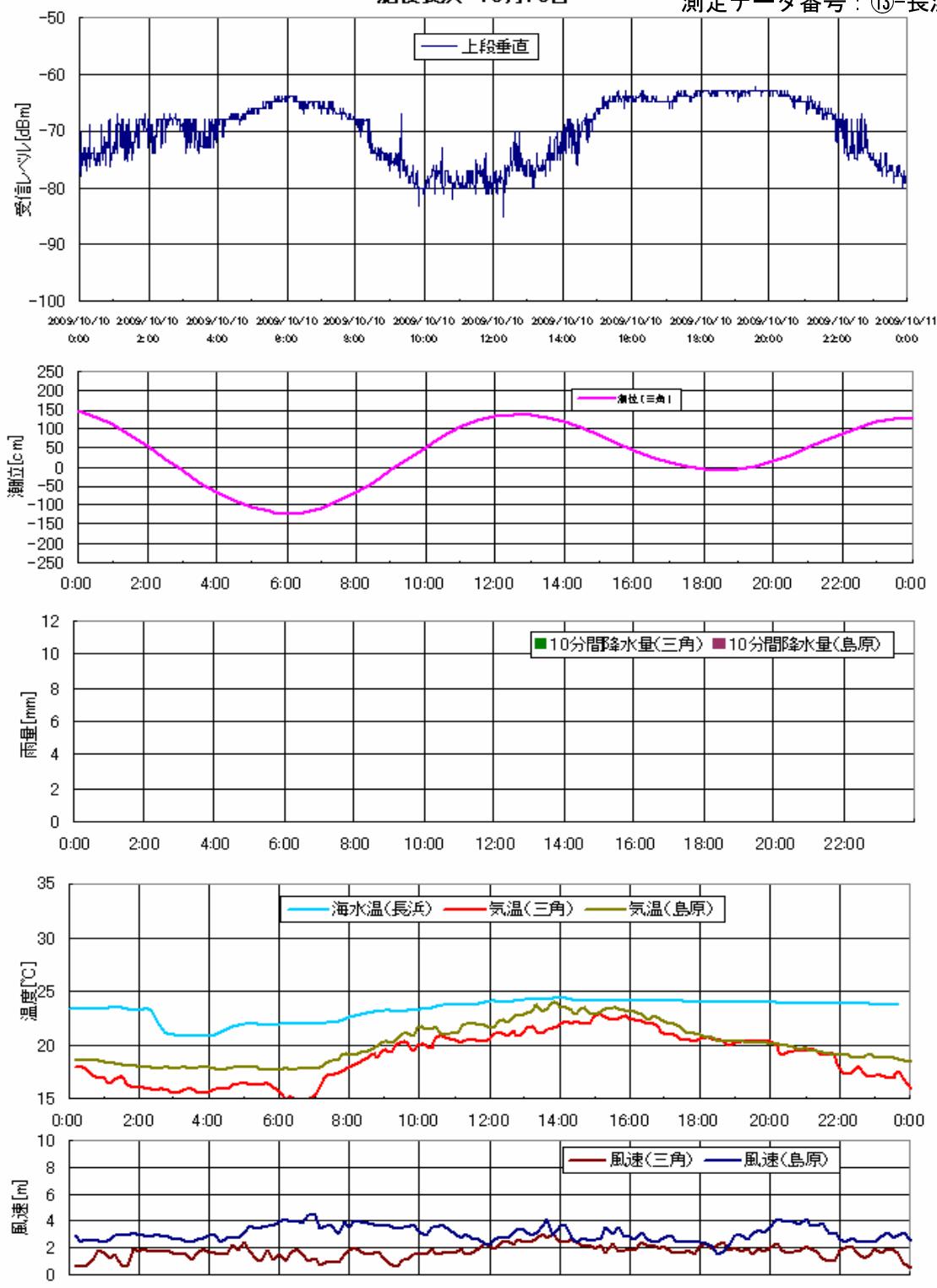
肥後長浜 10月9日

測定データ番号 : ⑬-長浜



肥後長浜 10月10日

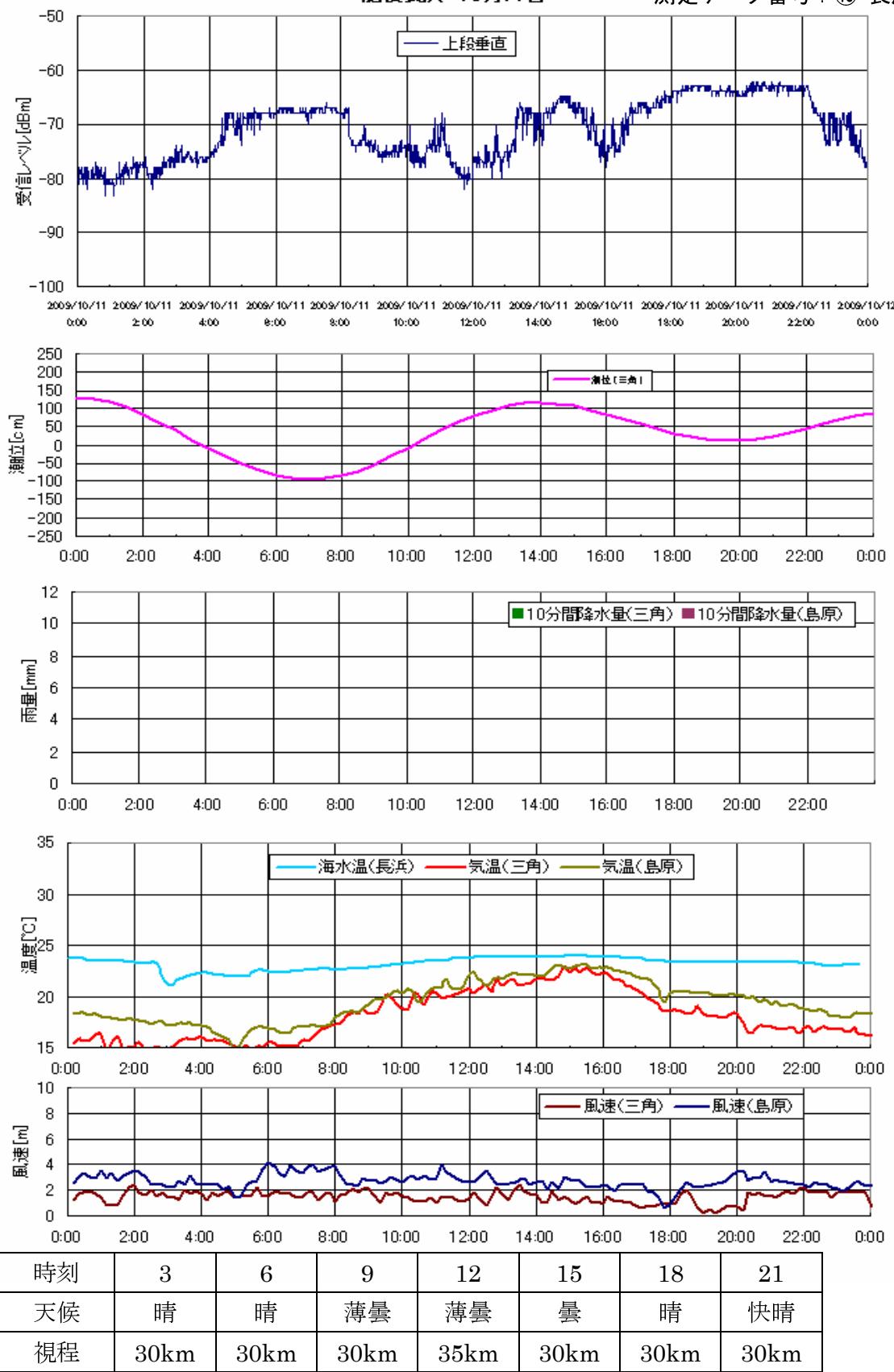
測定データ番号 : ⑬-長浜



時刻	3	6	9	12	15	18	21
天候	薄曇	晴	晴	薄曇	晴	快晴	快晴
視程	25km	25km	50km	50km	40km	40km	30km

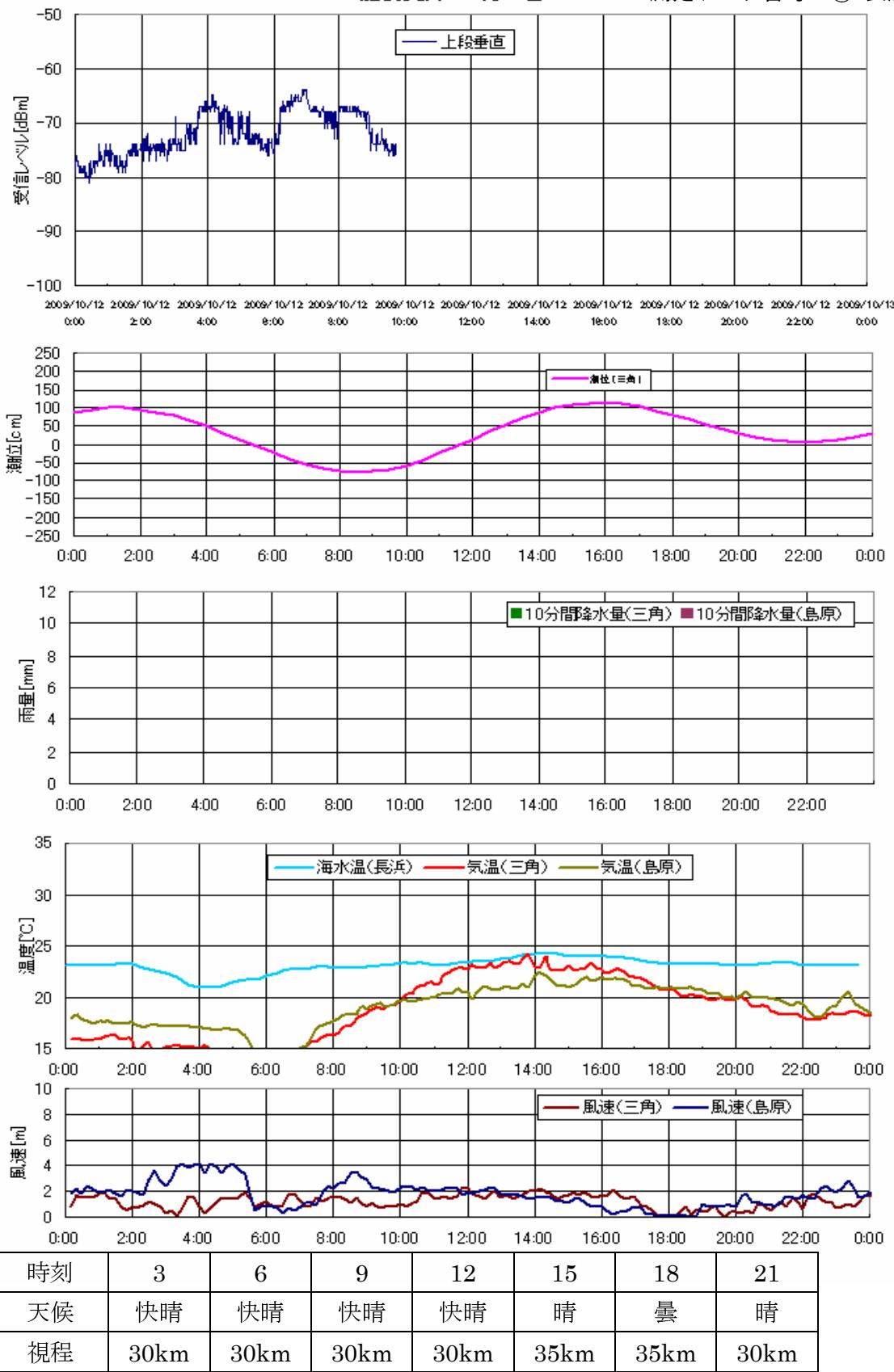
肥後長浜 10月11日

測定データ番号 : ⑬-長浜

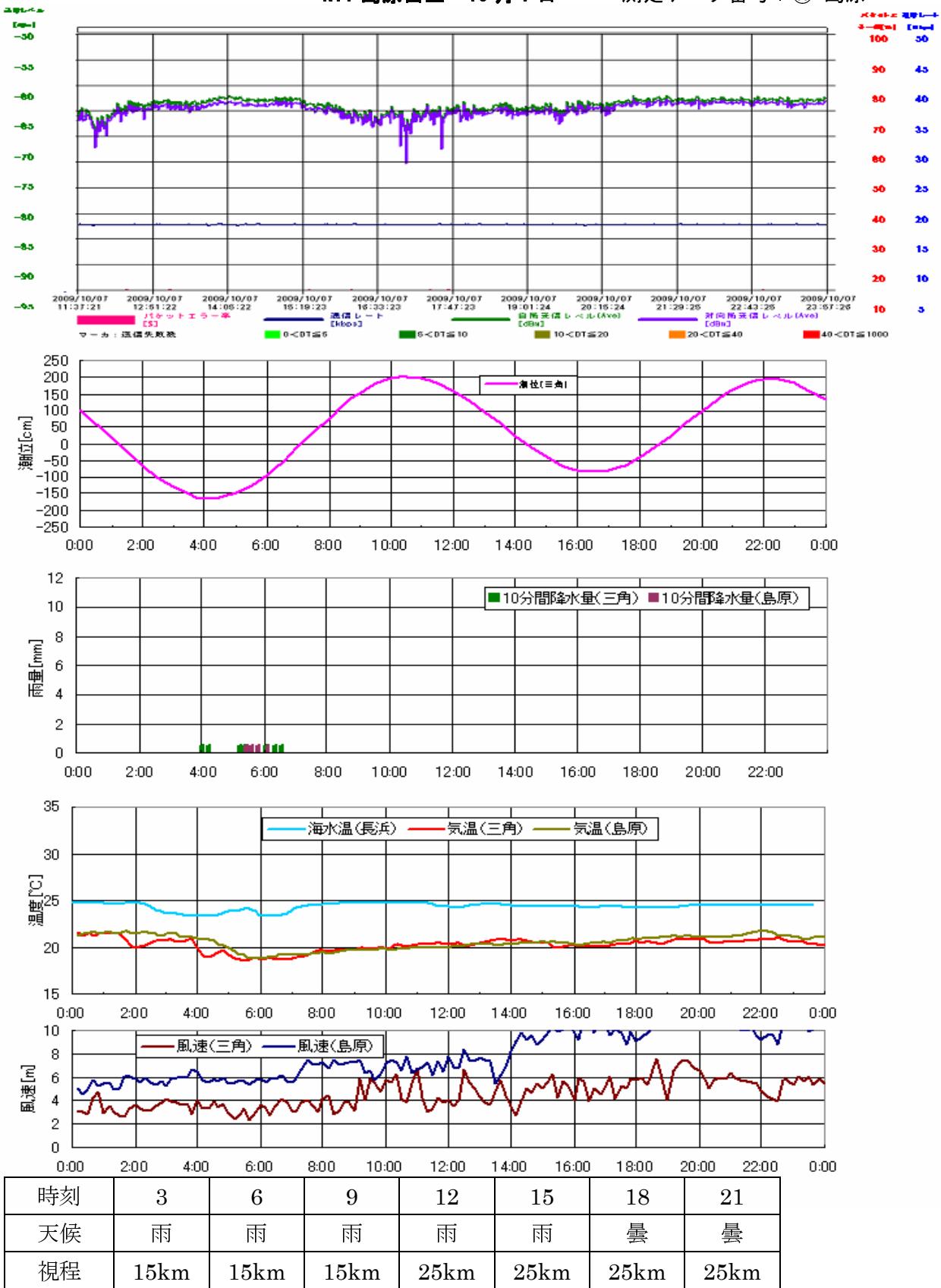


肥後長浜 10月12日

測定データ番号 : ⑬-長浜

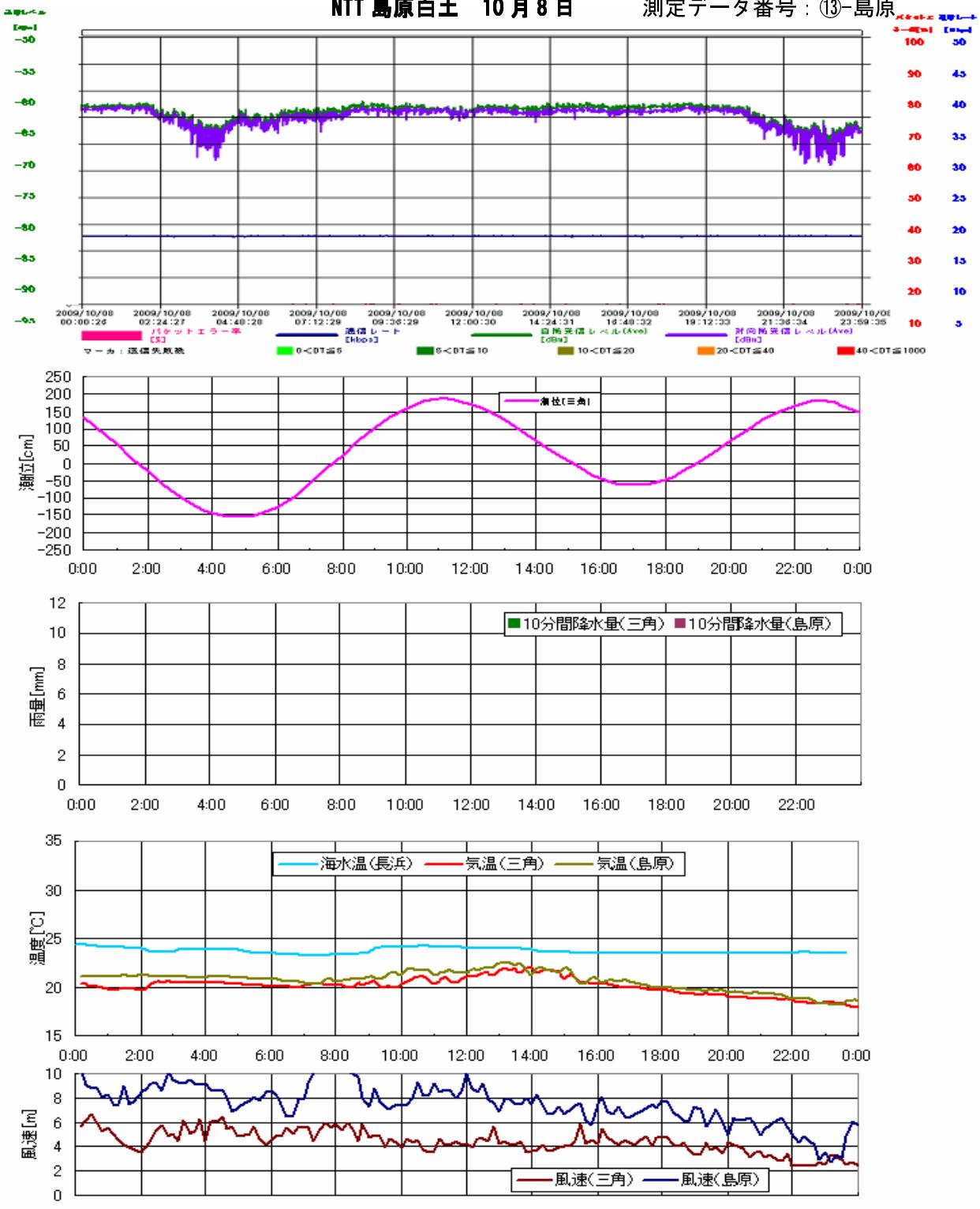


NTT 島原白土 10月7日 測定データ番号：⑬-島原



NTT 島原白土 10月8日

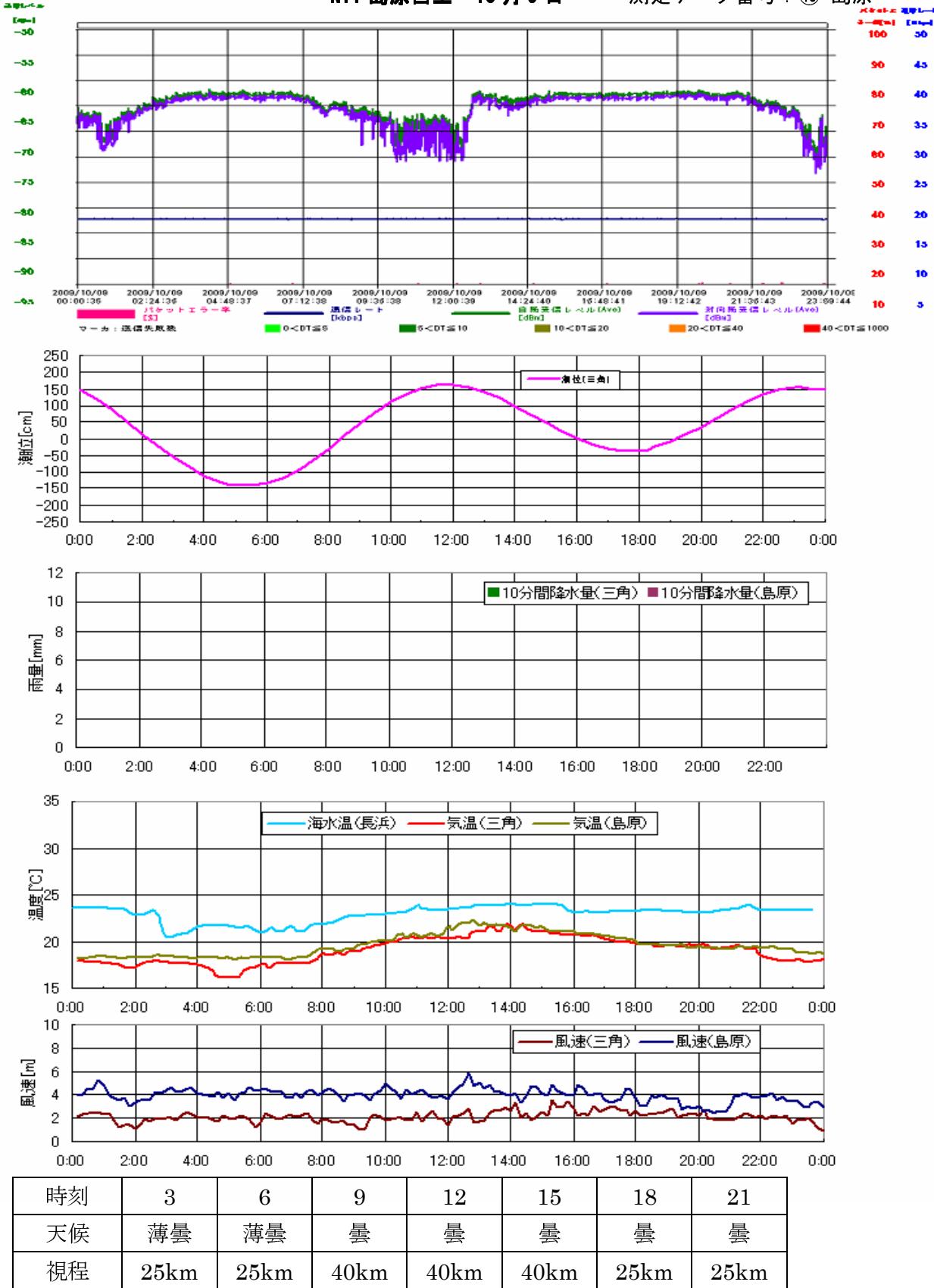
測定データ番号 : ⑬-島原



時刻	3	6	9	12	15	18	21
天候	曇	曇	晴	曇	曇	曇	晴
視程	25km	20km	30km	25km	25km	25km	25km

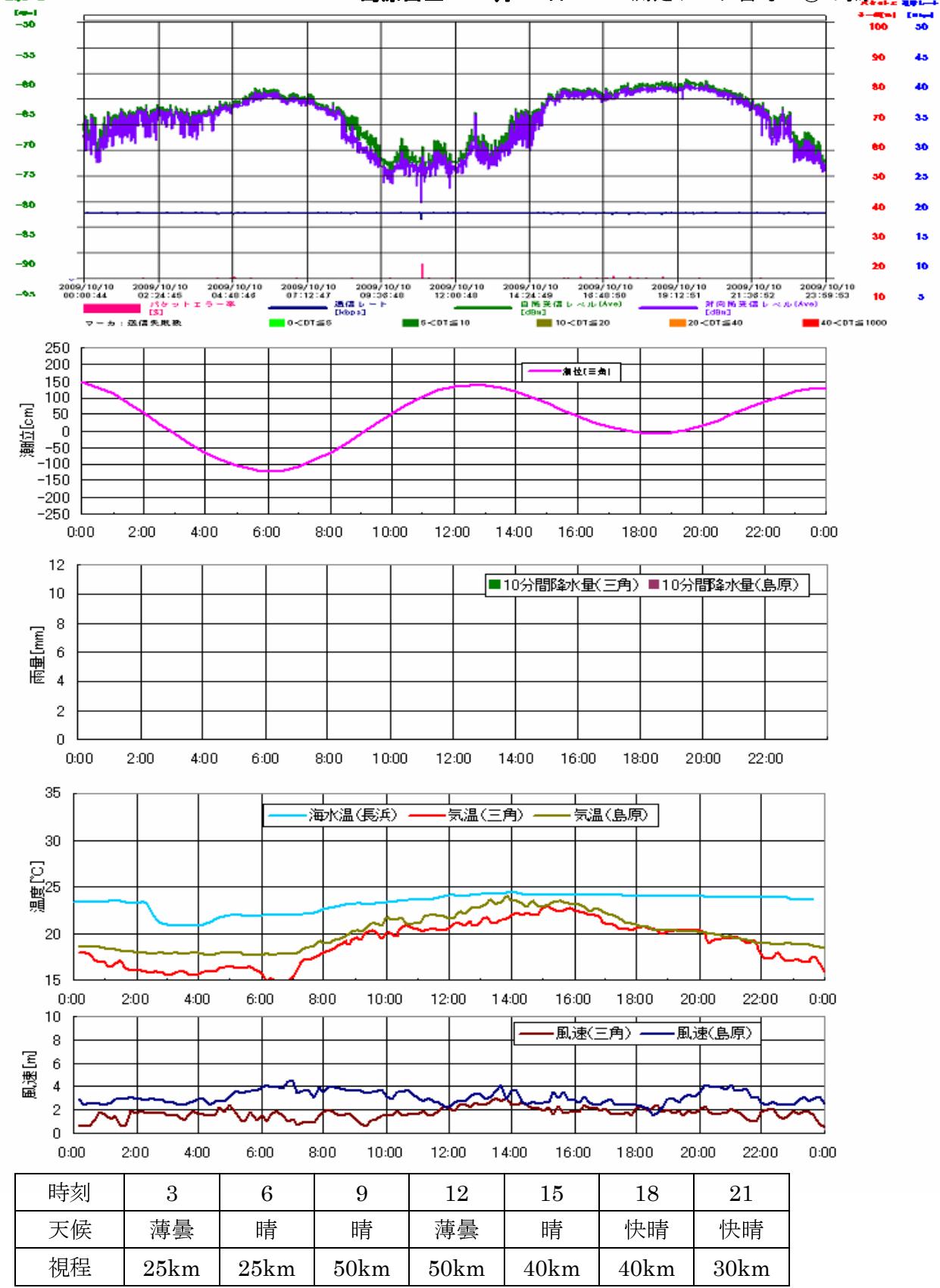
NTT 島原白土 10月9日

測定データ番号 : ⑬-島原



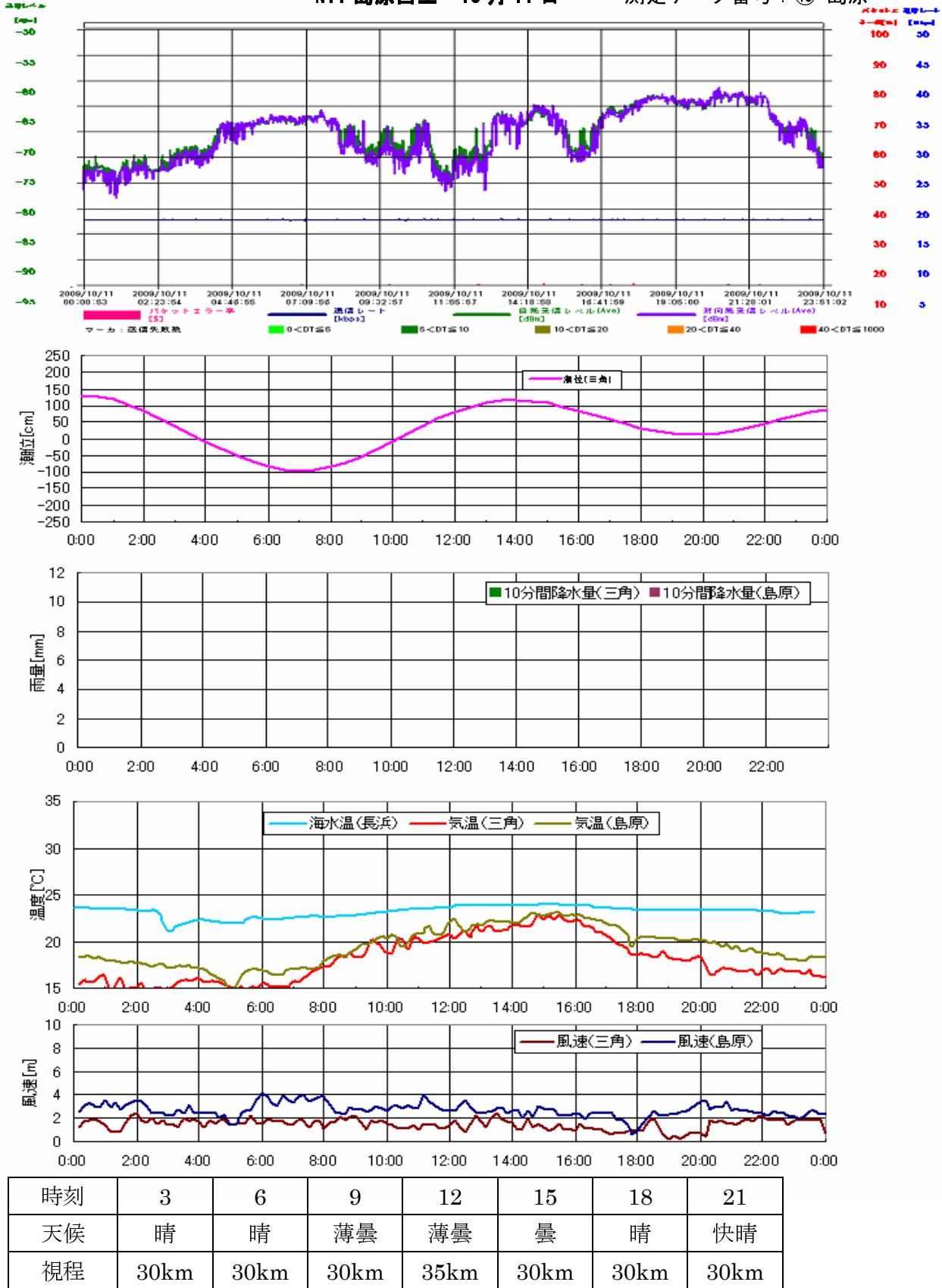
NTT 島原白土 10月10日

測定データ番号：⑬-島原

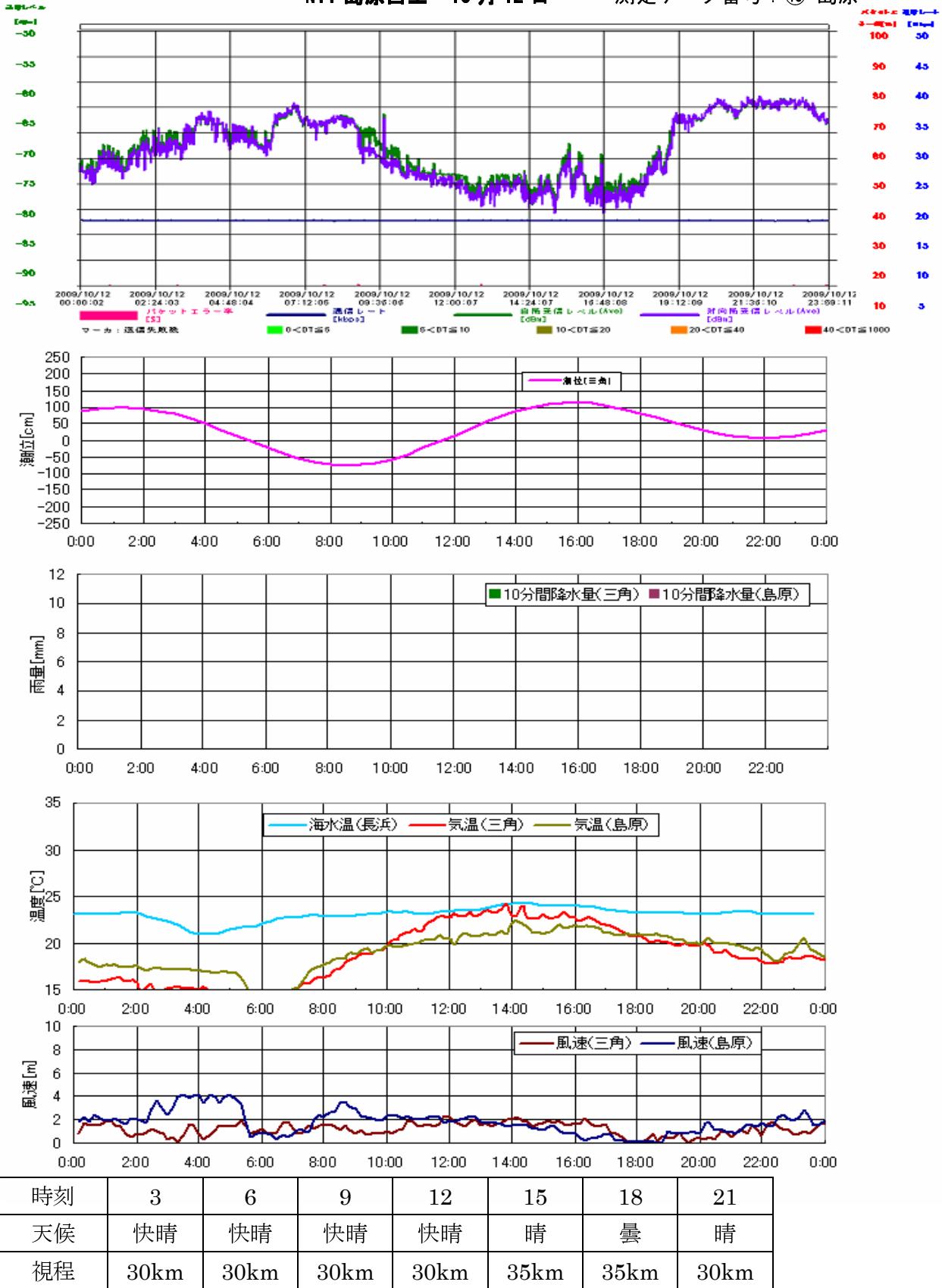


NTT 島原白土 10月11日

測定データ番号 : ⑬-島原

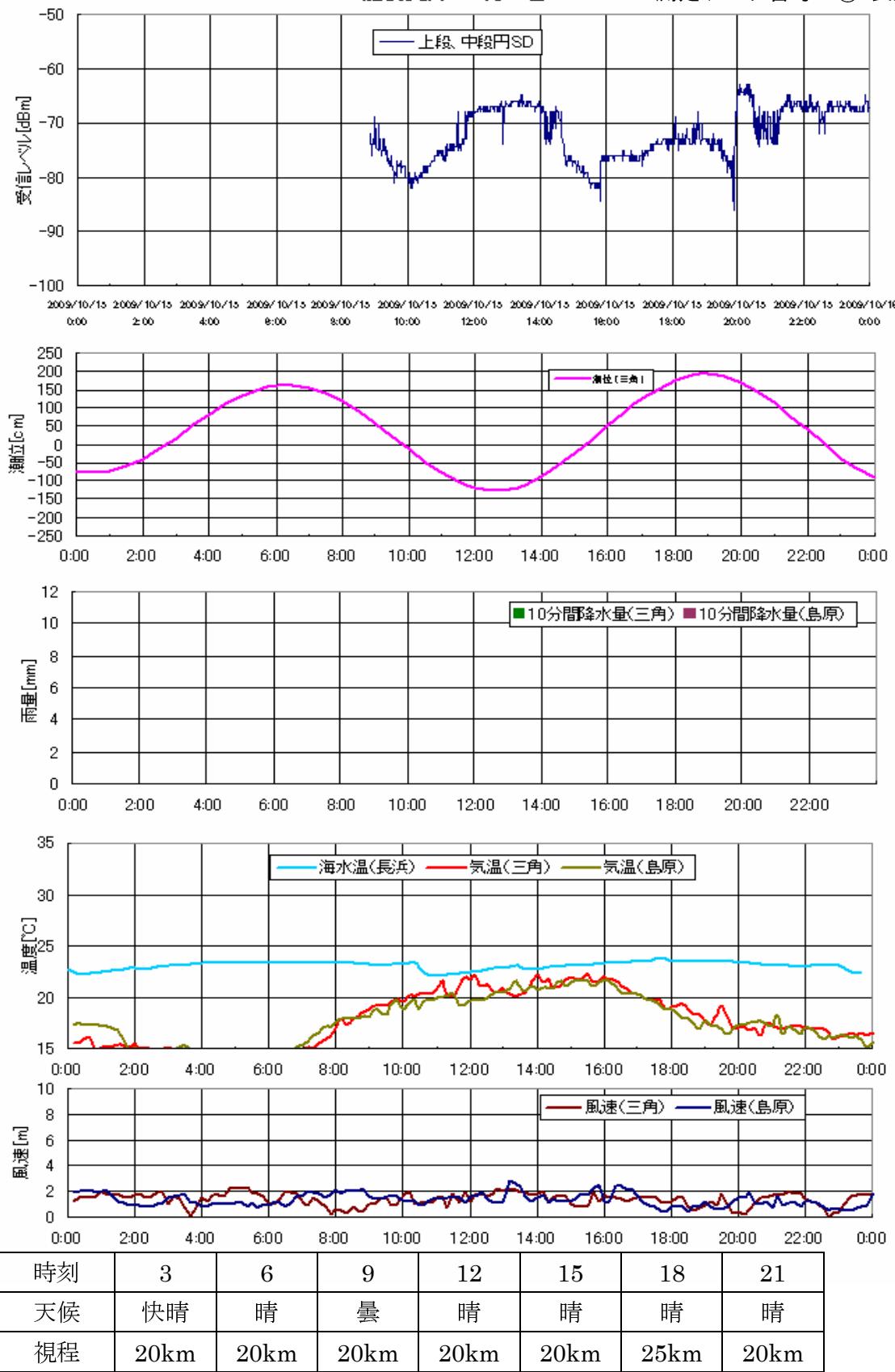


NTT 島原白土 10月12日 測定データ番号：⑬-島原



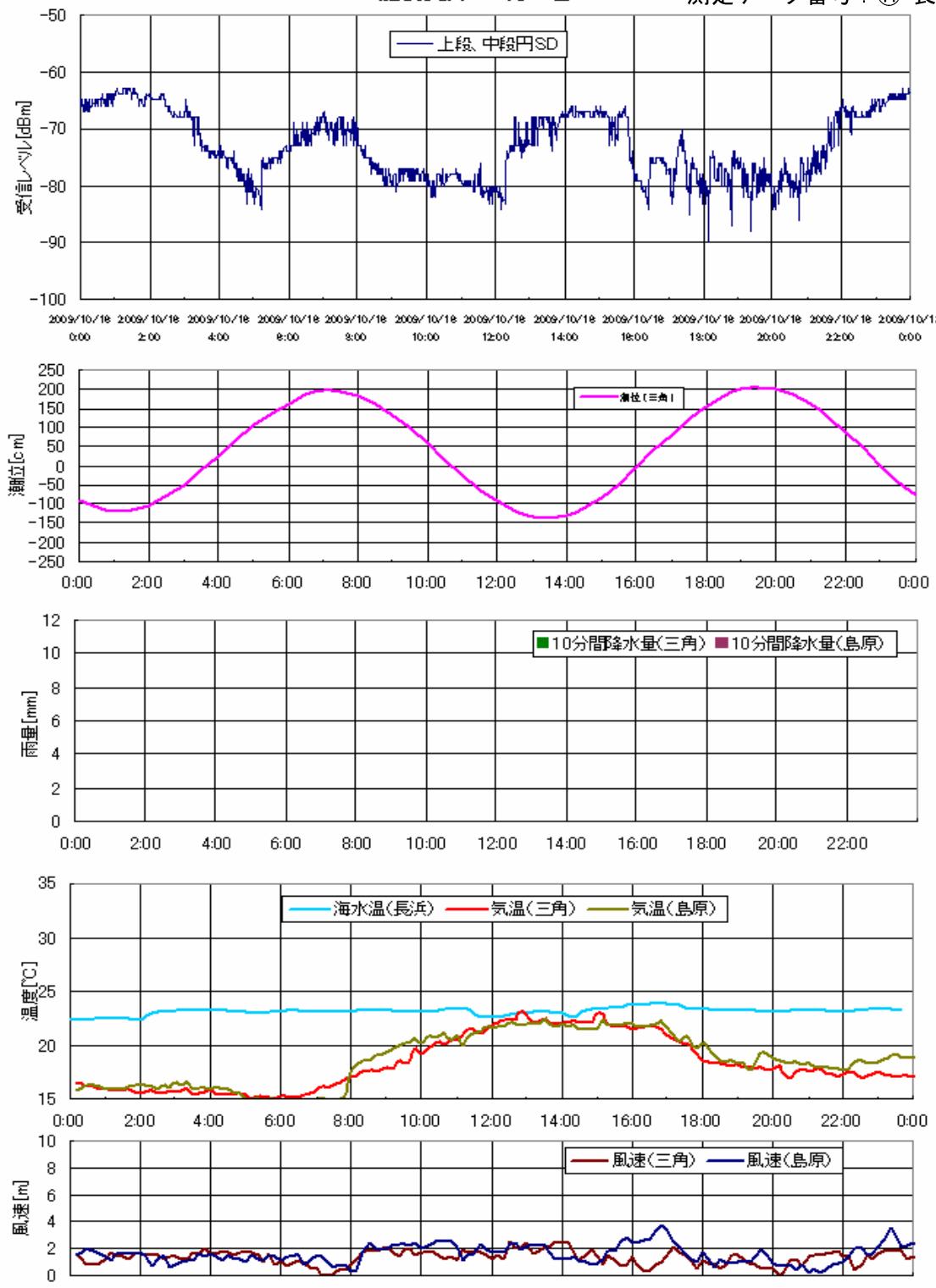
肥後長浜 10月15日

測定データ番号 : ⑭-長浜



肥後長浜 10月16日

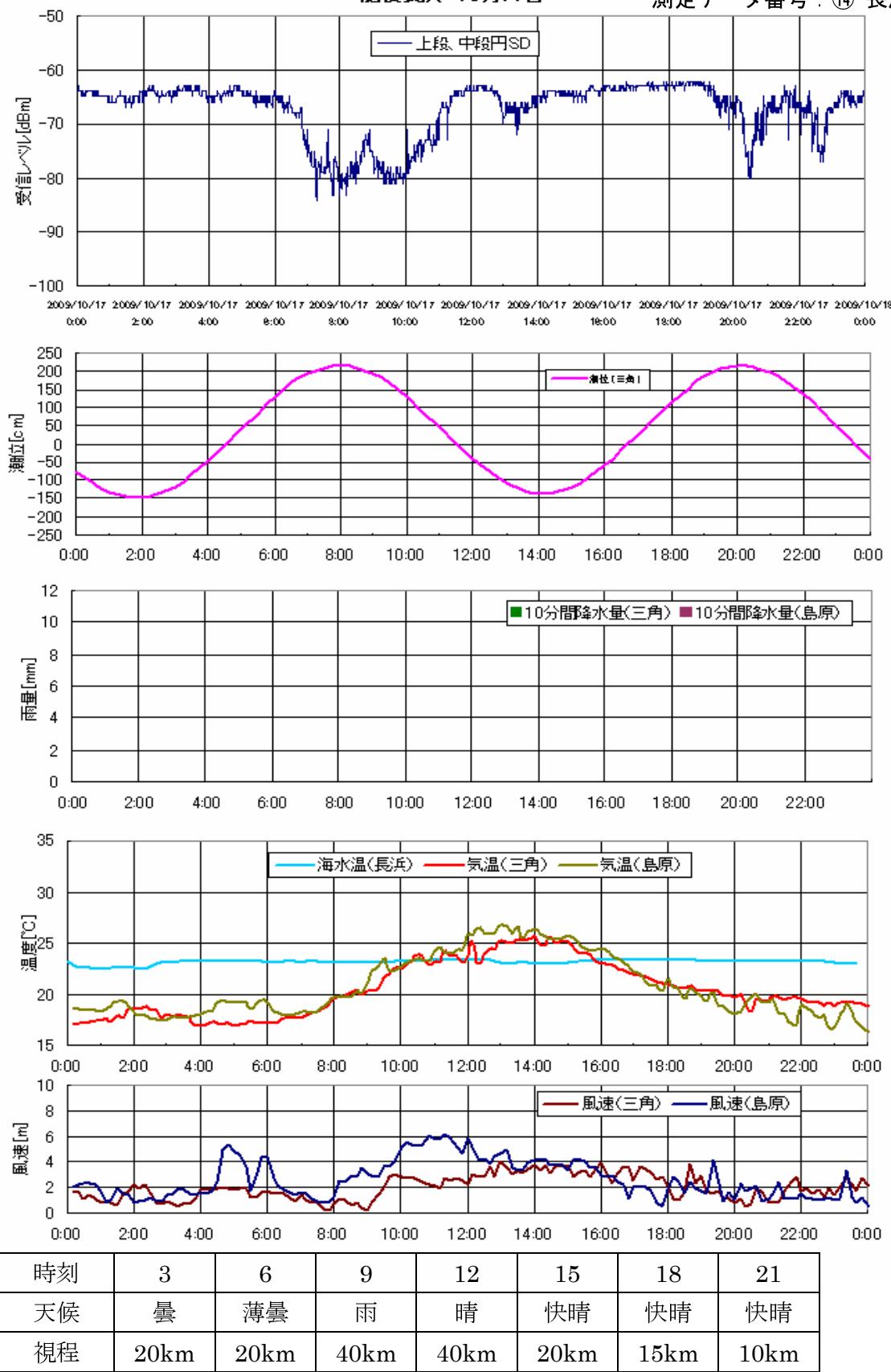
測定データ番号：⑭-長浜



時刻	3	6	9	12	15	18	21
天候	快晴	快晴	快晴	晴	薄曇	晴	薄曇
視程	20km	10km	10km	25km	25km	20km	15km

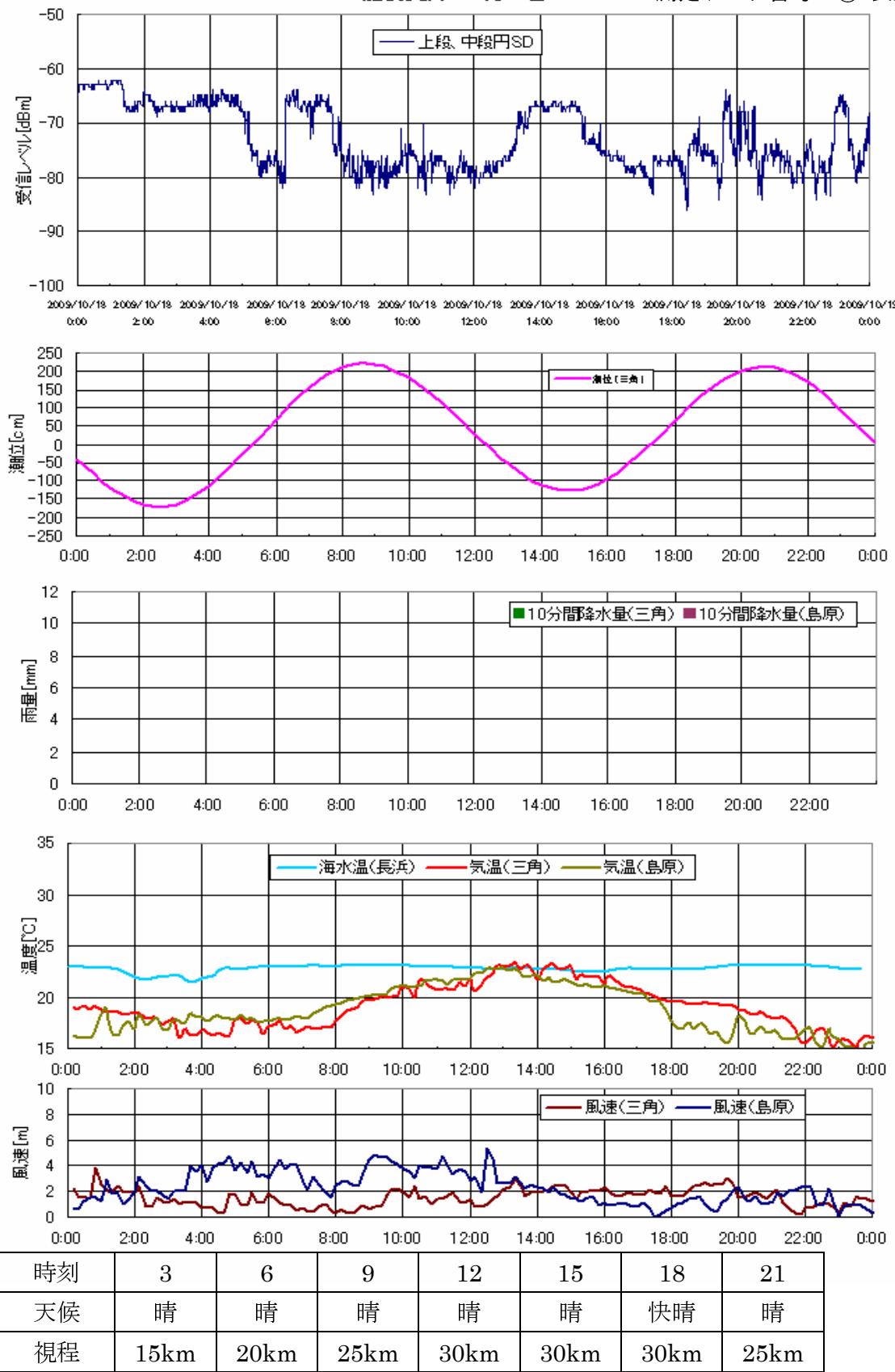
肥後長浜 10月17日

測定データ番号 : ⑭-長浜



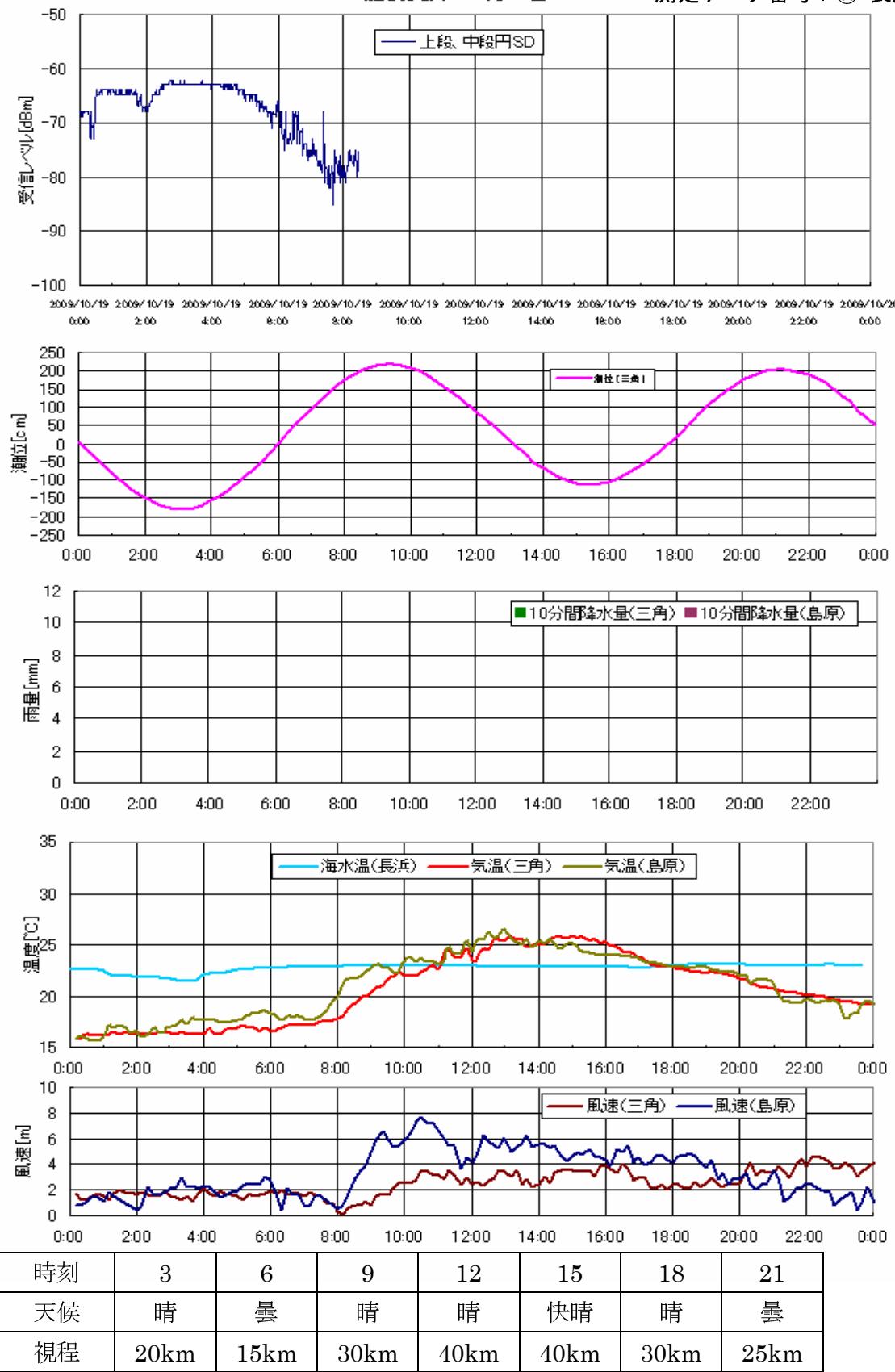
肥後長浜 10月18日

測定データ番号 : ⑭-長浜



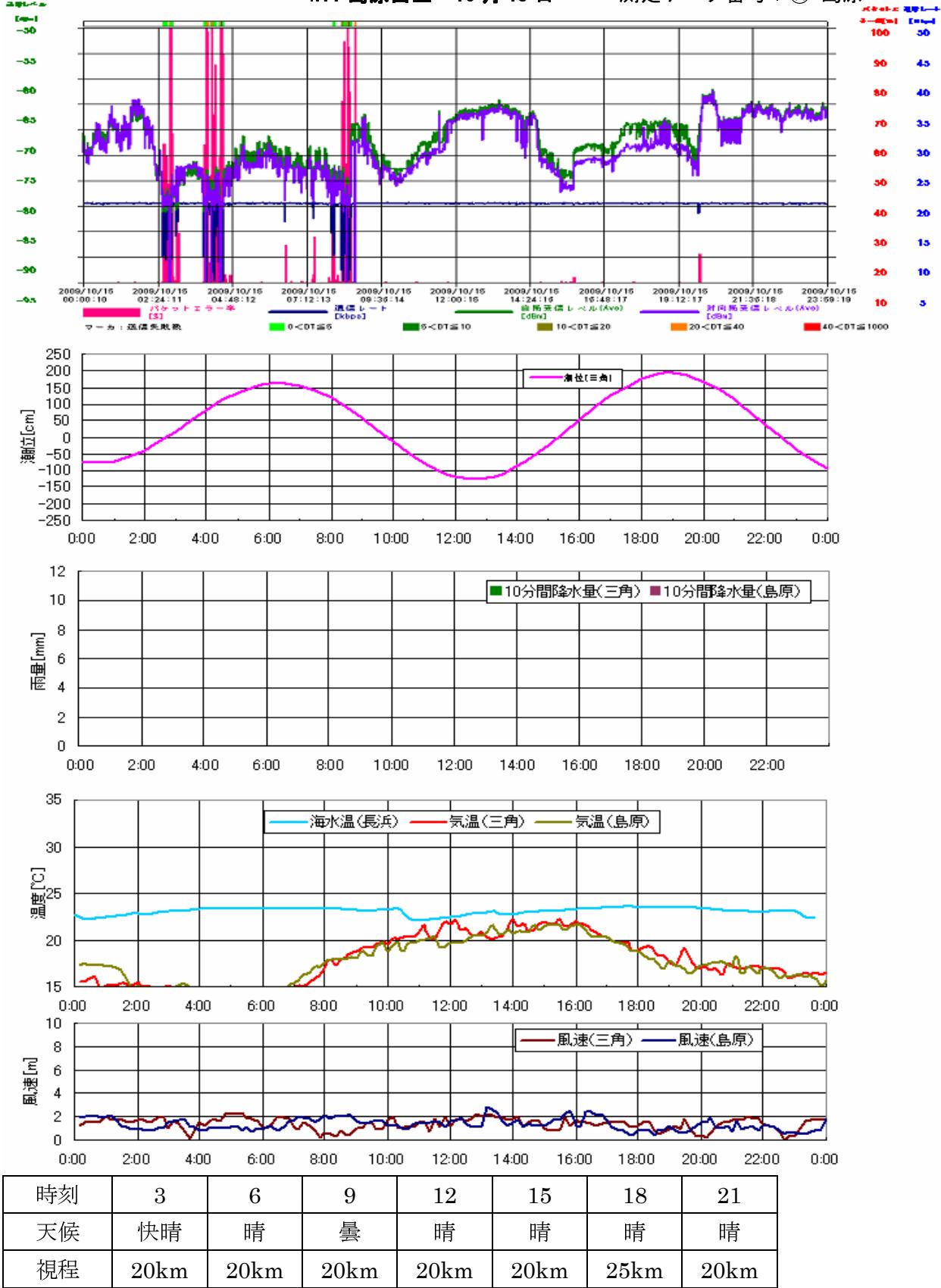
肥後長浜 10月19日

測定データ番号 : ⑭-長浜



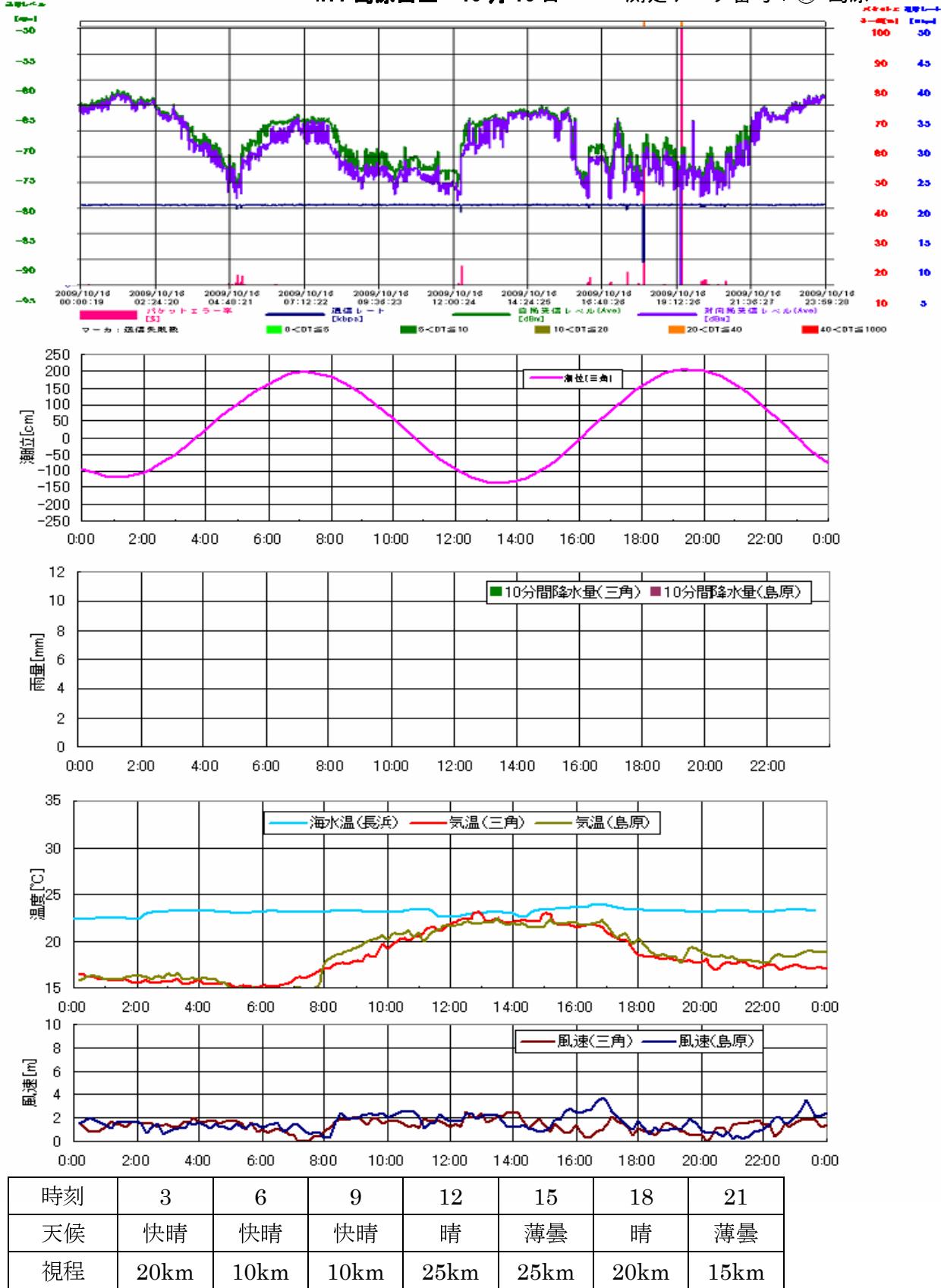
NTT 島原白土 10月15日

測定データ番号 : ⑭-島原



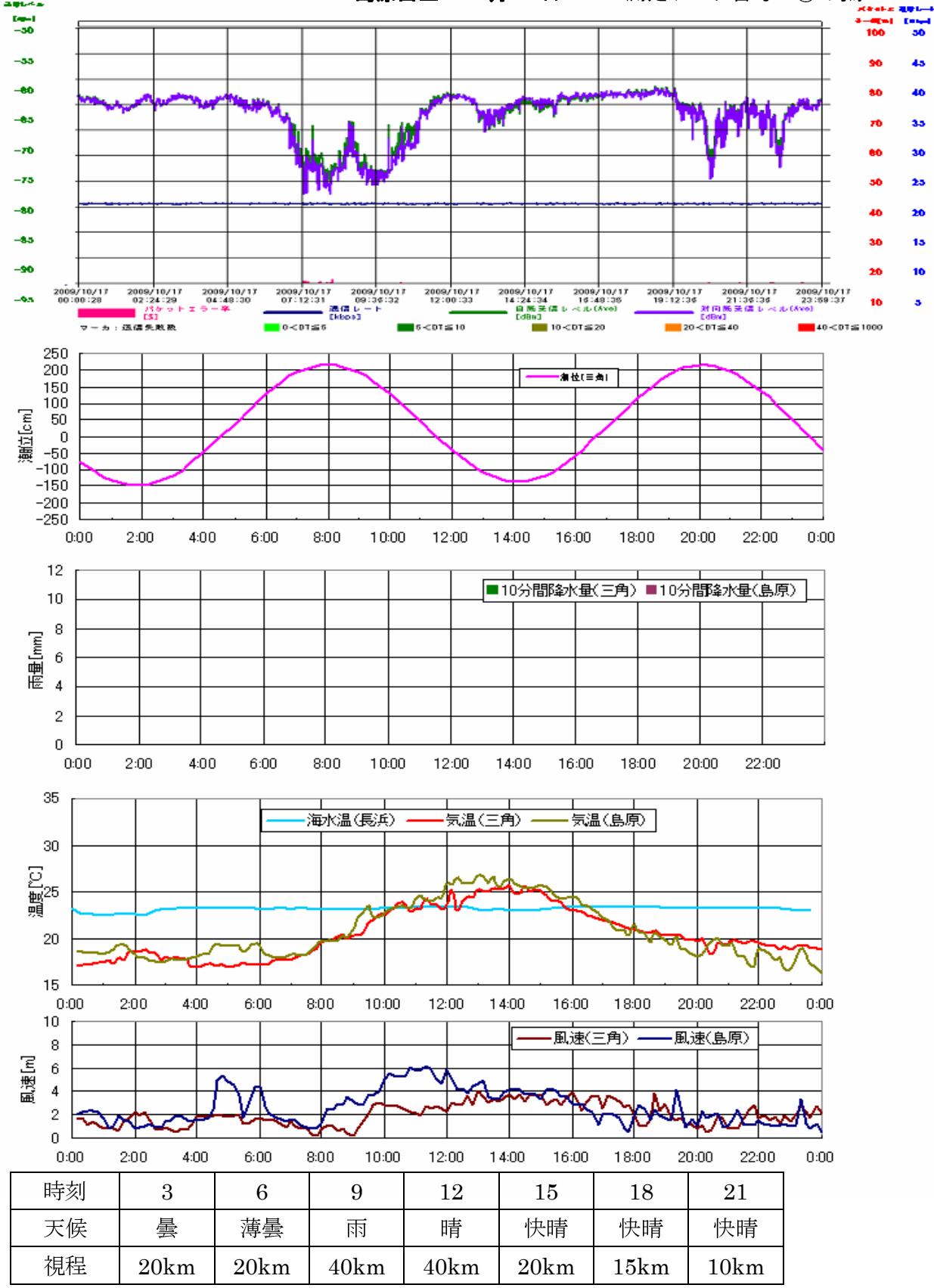
NTT 島原白土 10月16日

測定データ番号 : ⑭-島原

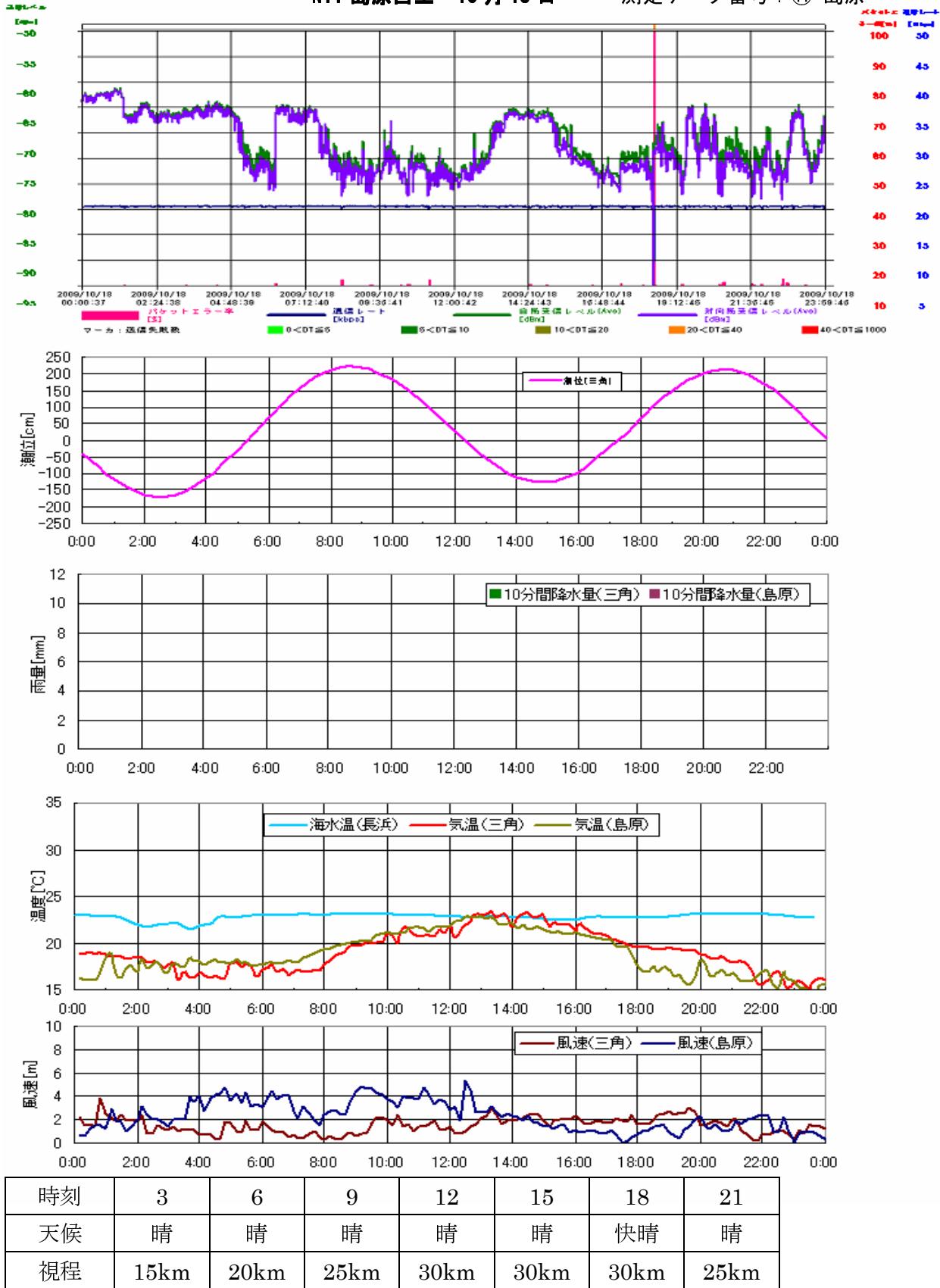


NTT 島原白土 10月17日

測定データ番号：⑯-島原

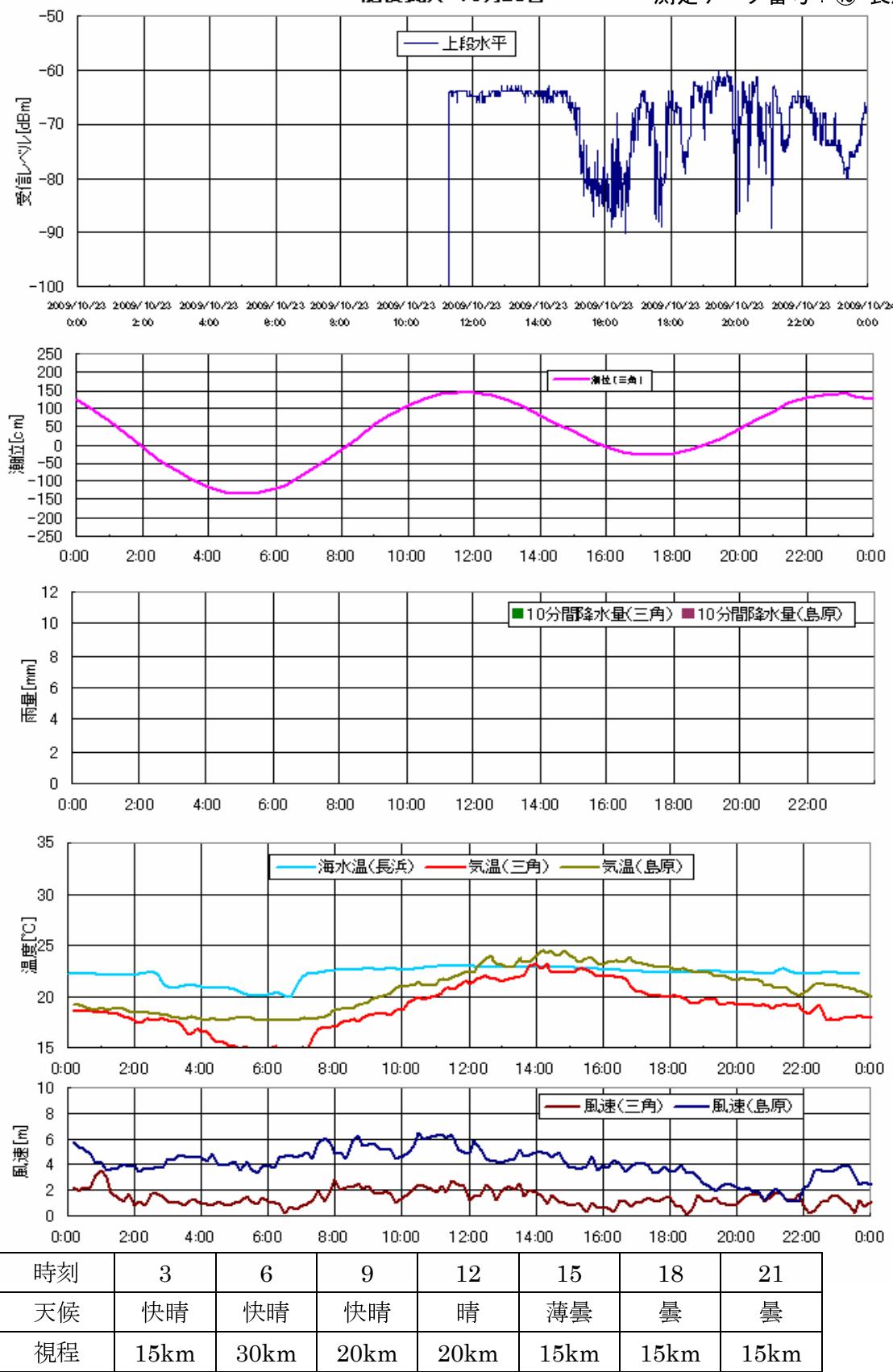


NTT 島原白土 10月18日 測定データ番号：⑭-島原



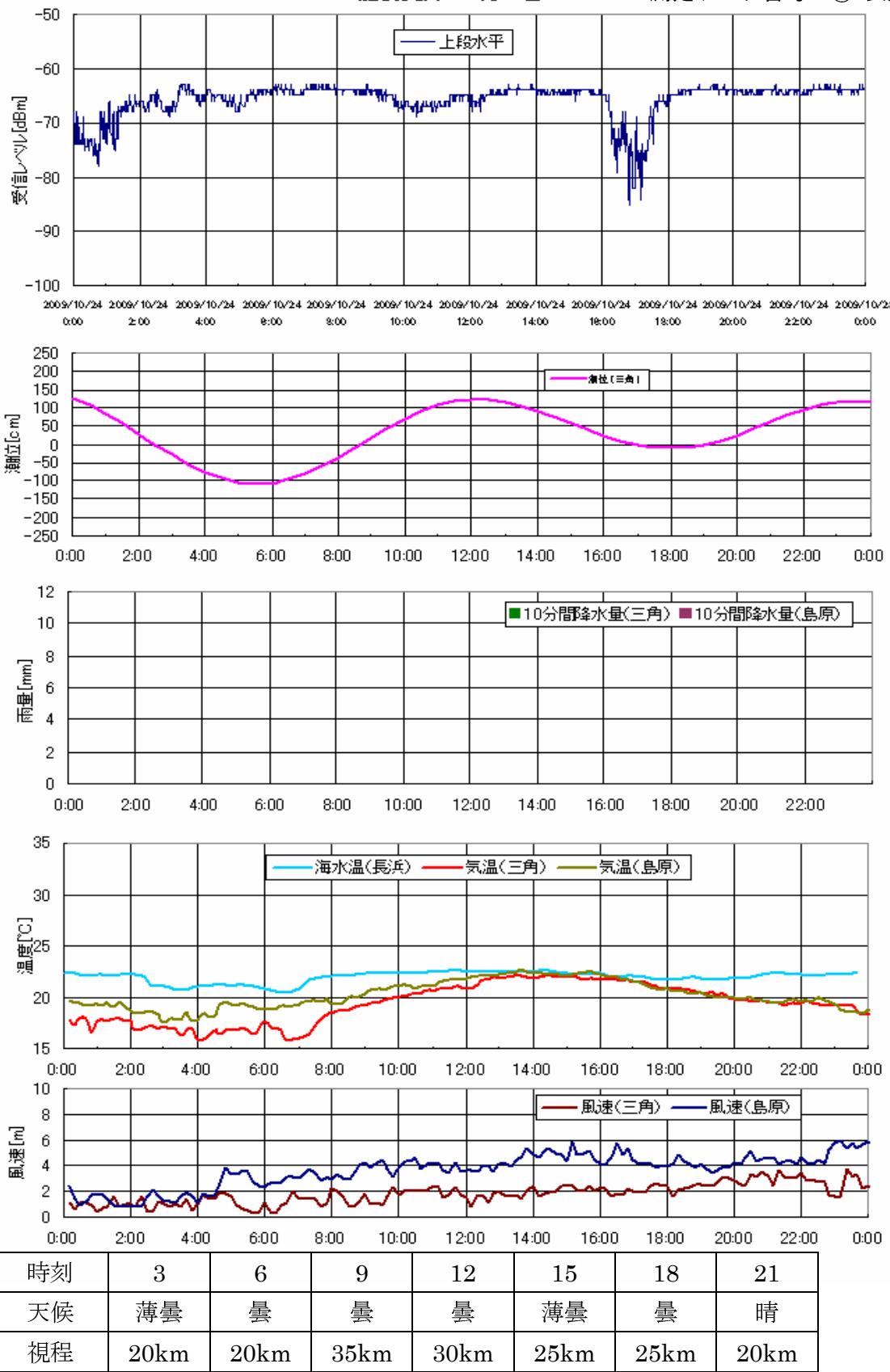
肥後長浜 10月23日

測定データ番号：⑯-長浜



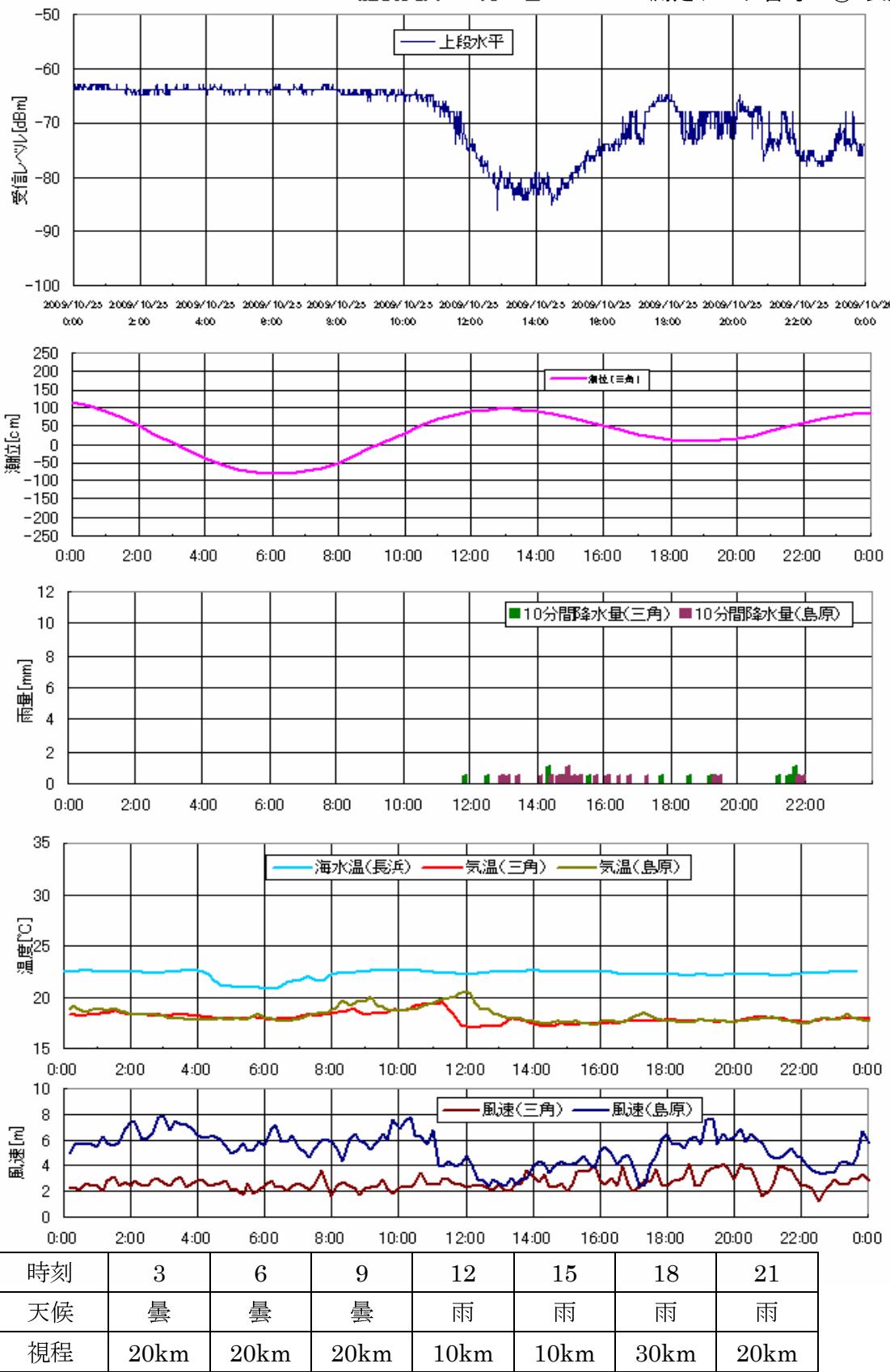
肥後長浜 10月24日

測定データ番号 : ⑯-長浜



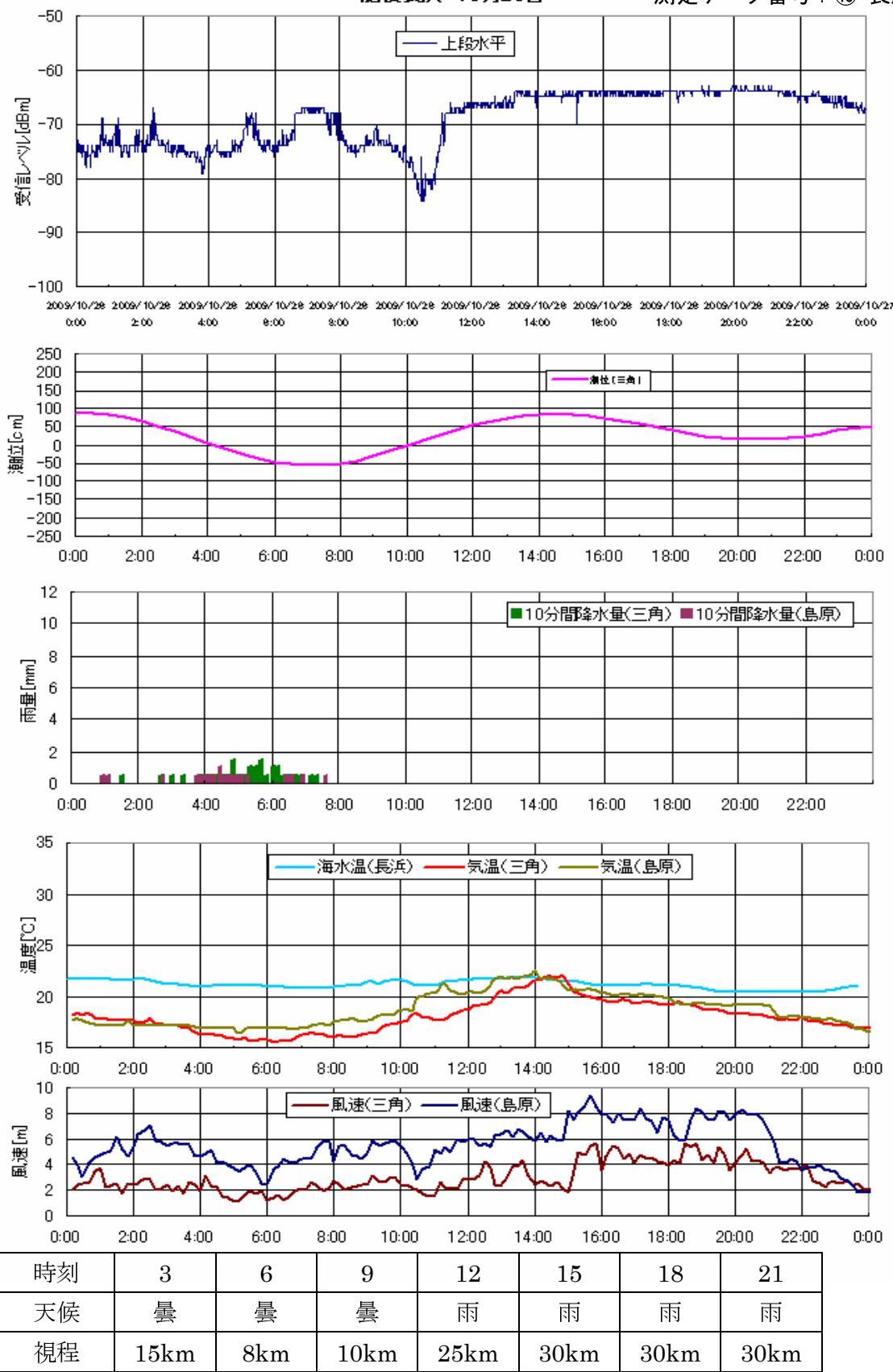
肥後長浜 10月25日

測定データ番号 : ⑯-長浜

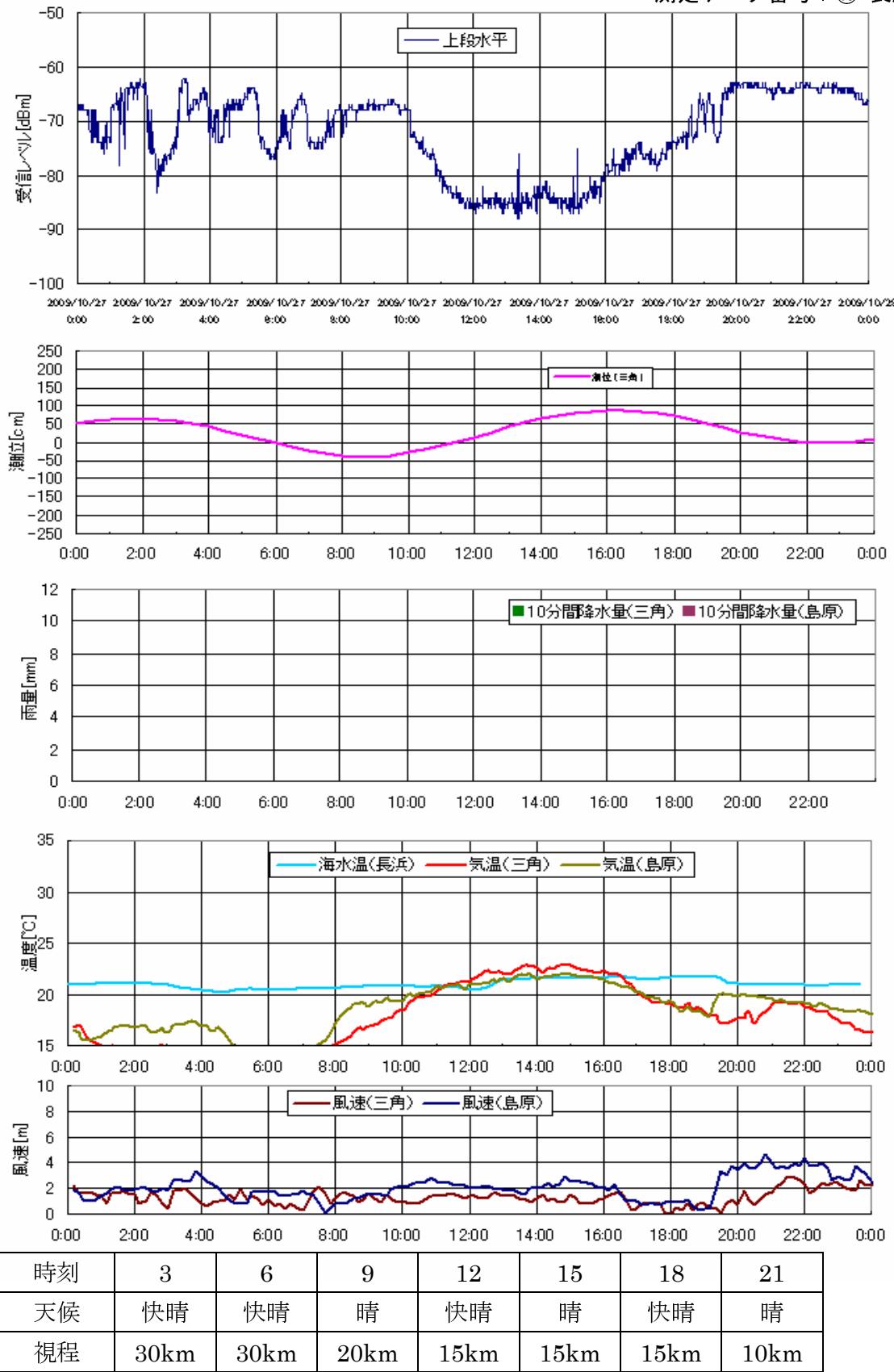


肥後長浜 10月26日

測定データ番号 : ⑯-長浜

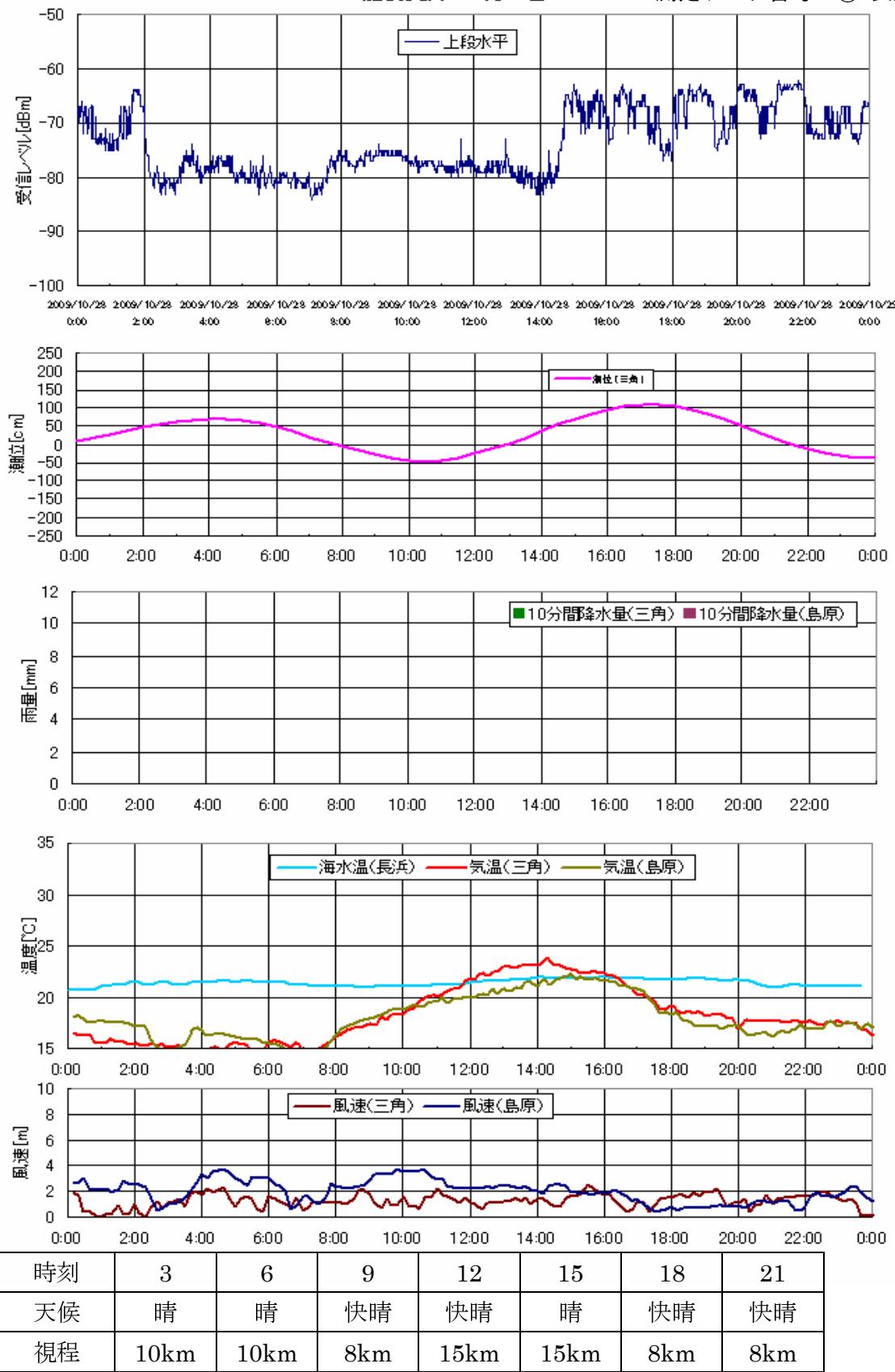


肥後長浜 10月27日 測定データ番号 : ⑯-長浜



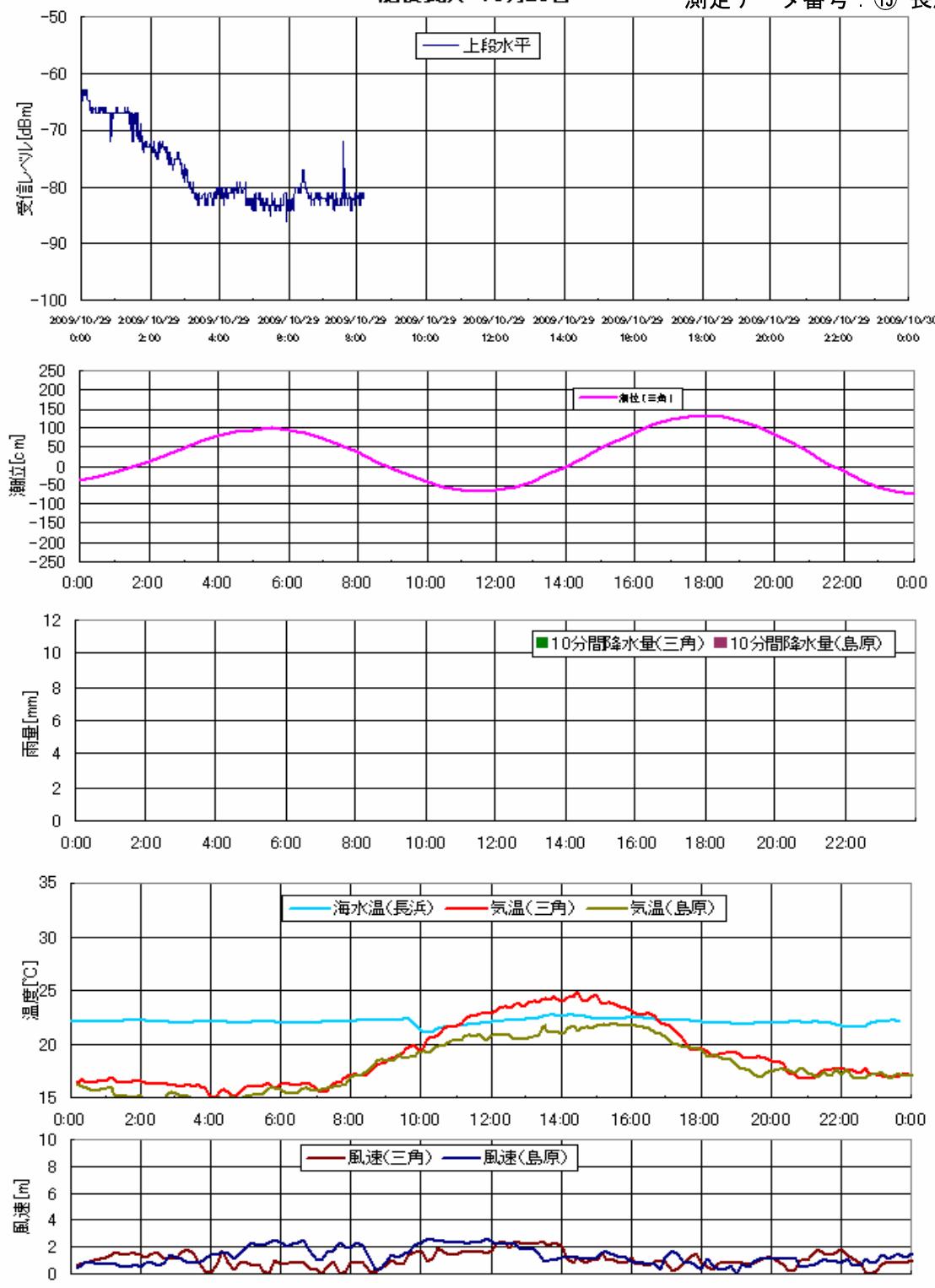
肥後長浜 10月28日

測定データ番号 : ⑯-長浜



肥後長浜 10月29日

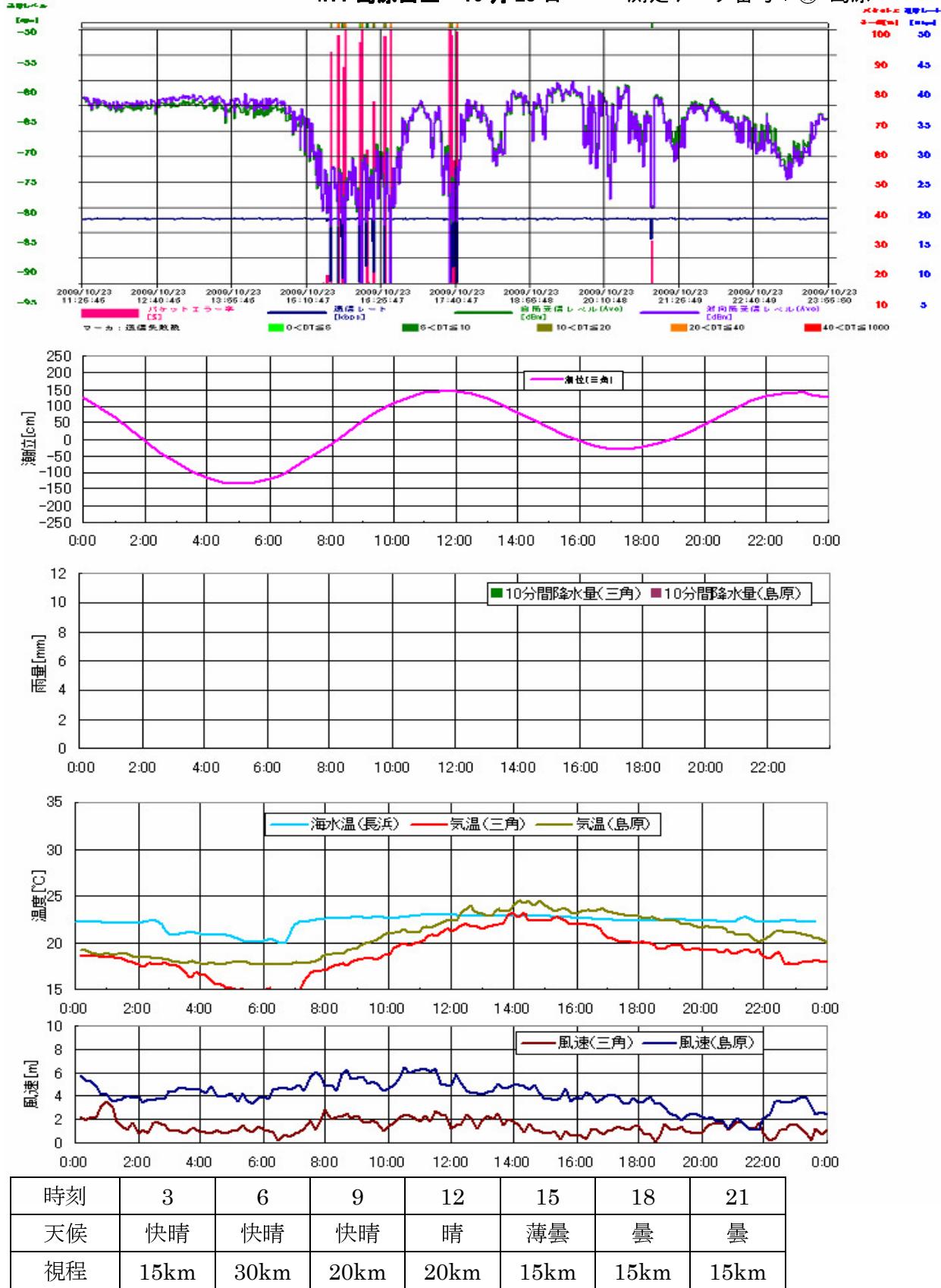
測定データ番号 : ⑯-長浜



時刻	3	6	9	12	15	18	21
天候	快晴	快晴	快晴	快晴	快晴	快晴	快晴
視程	5km	7km	7km	10km	10km	12km	10km

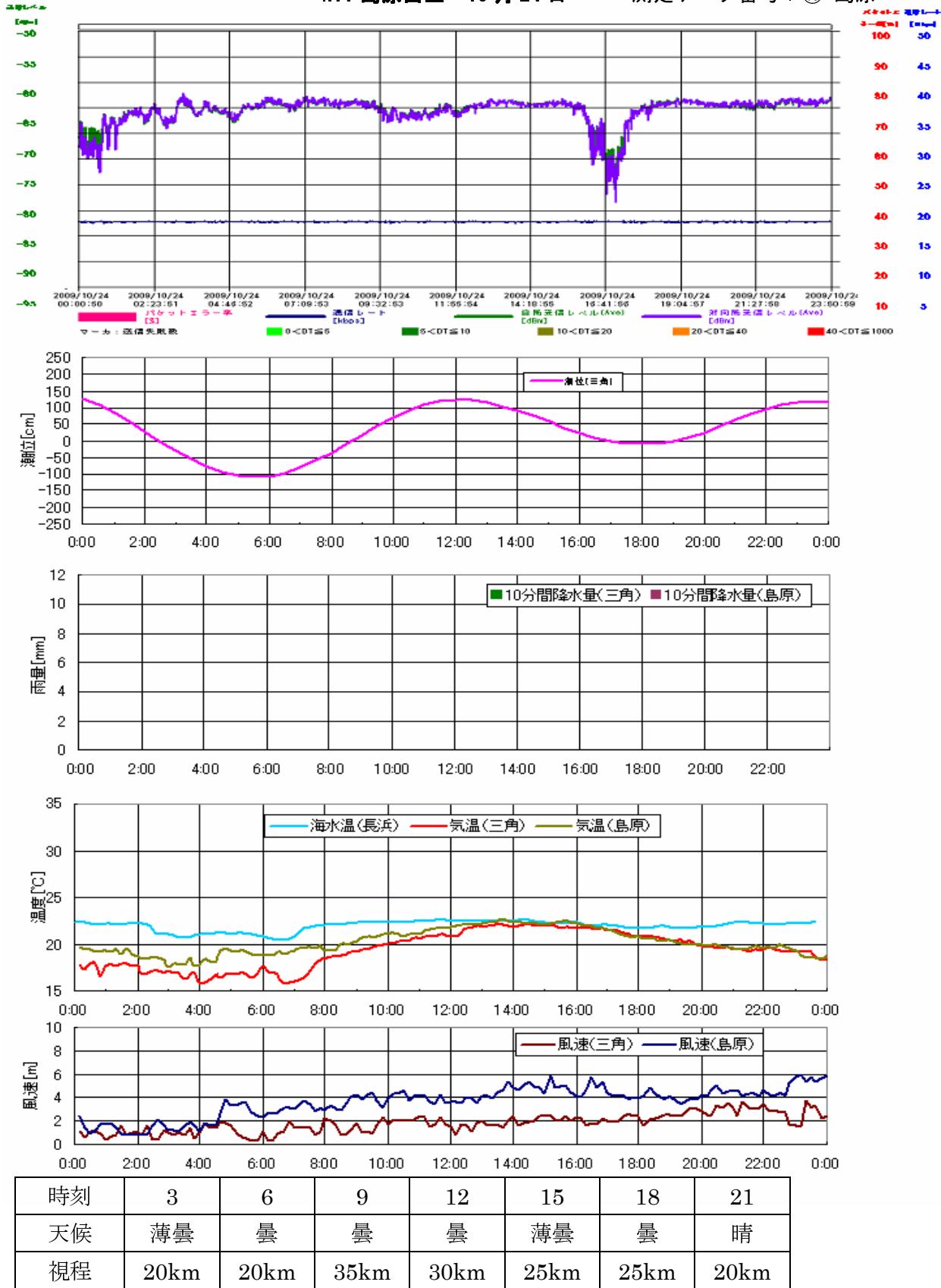
NTT 島原白土 10月23日

測定データ番号 : ⑯-島原



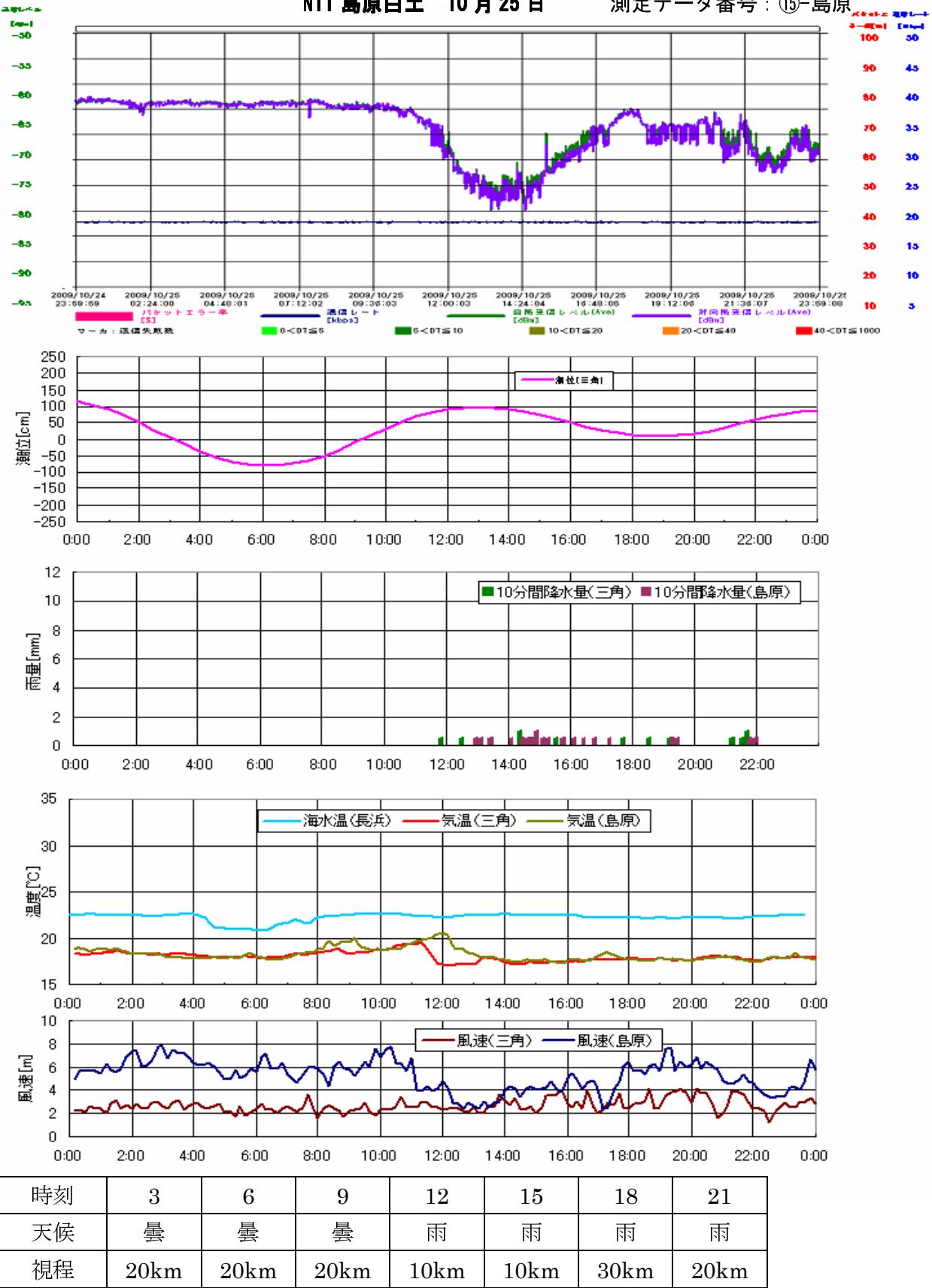
NTT 島原白土 10月24日

測定データ番号 : ⑯-島原



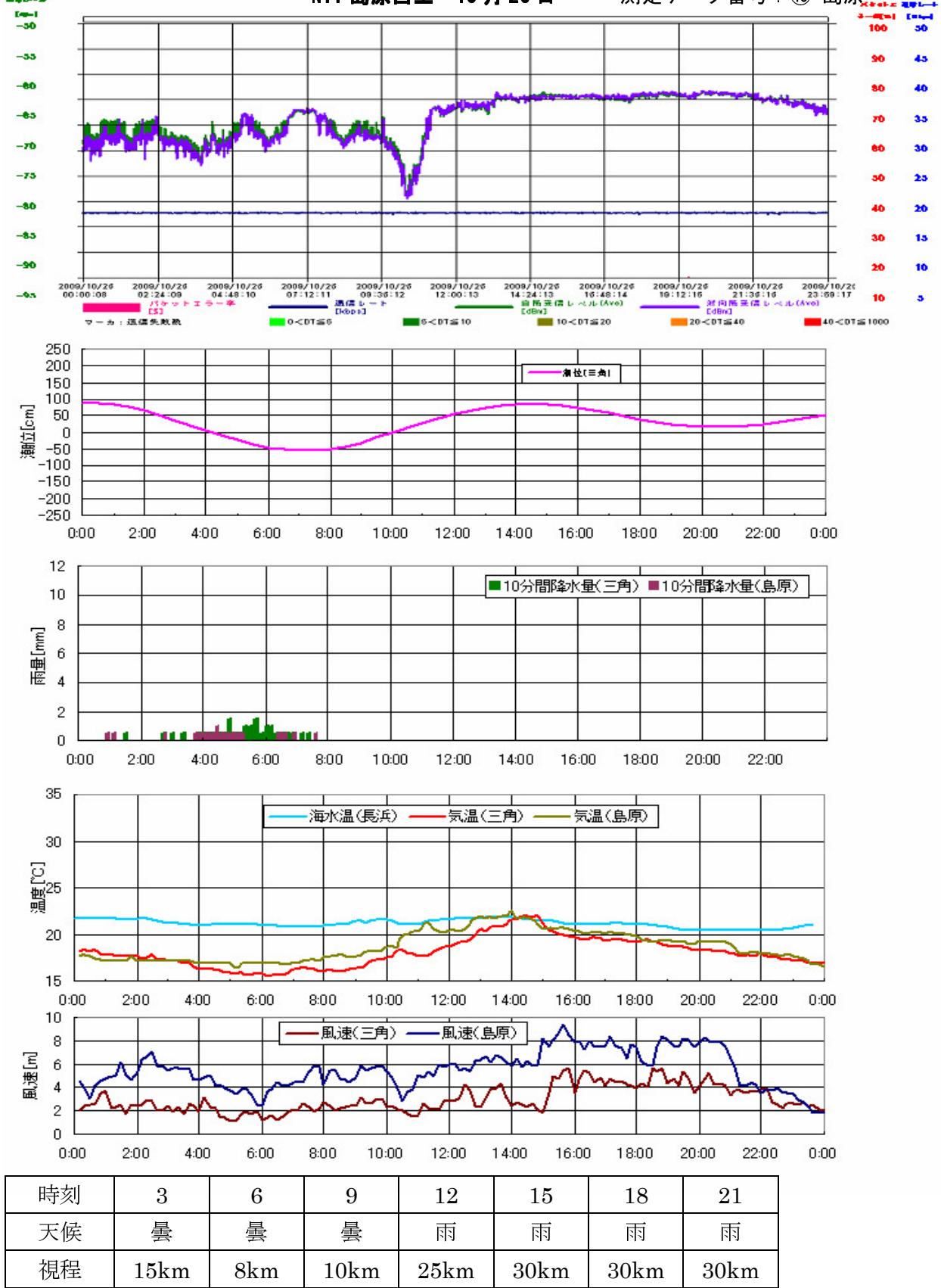
NTT 島原白土 10月25日

測定データ番号 : ⑯-島原



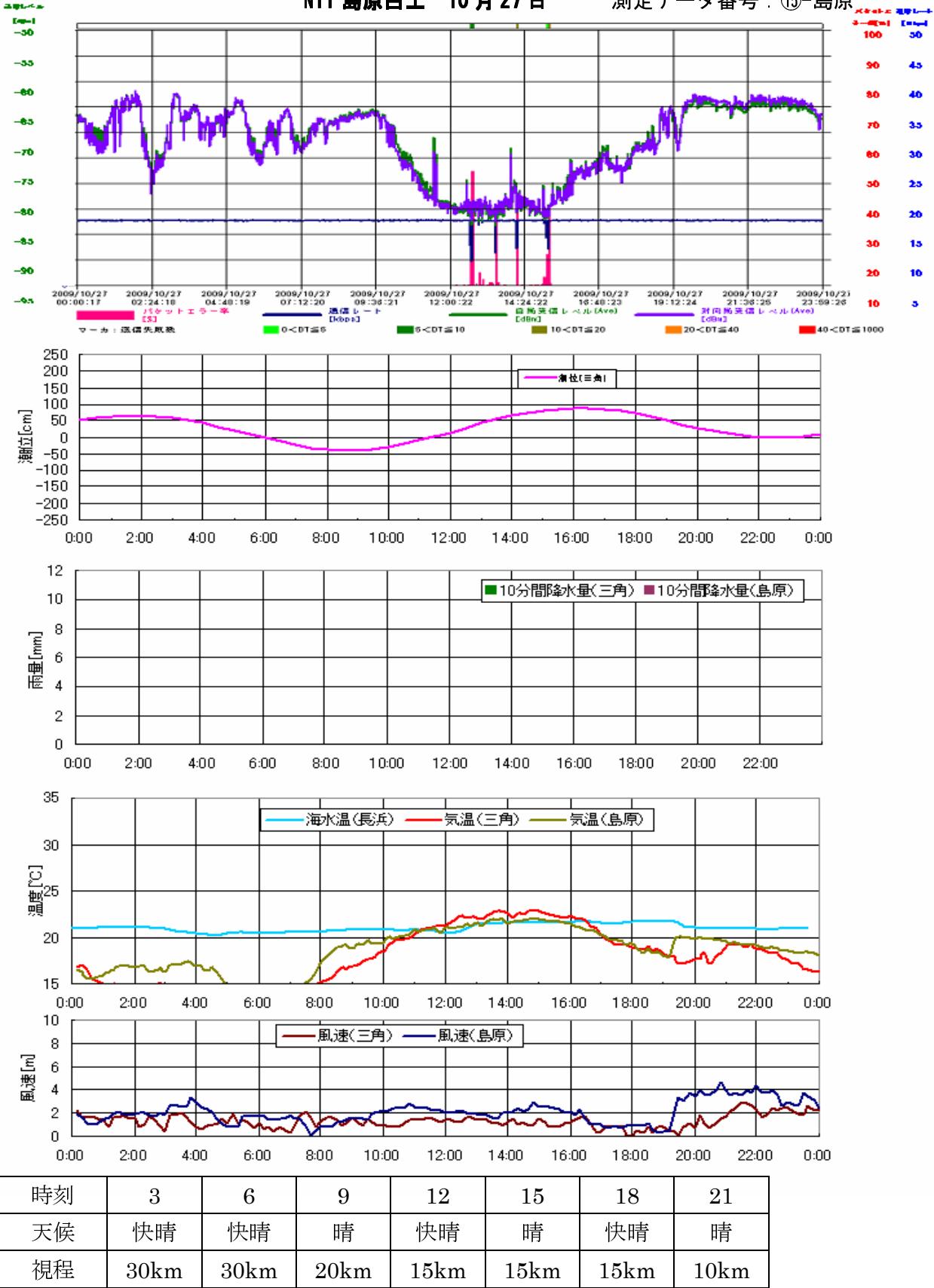
NTT 島原白土 10月26日

測定データ番号：⑯-島原



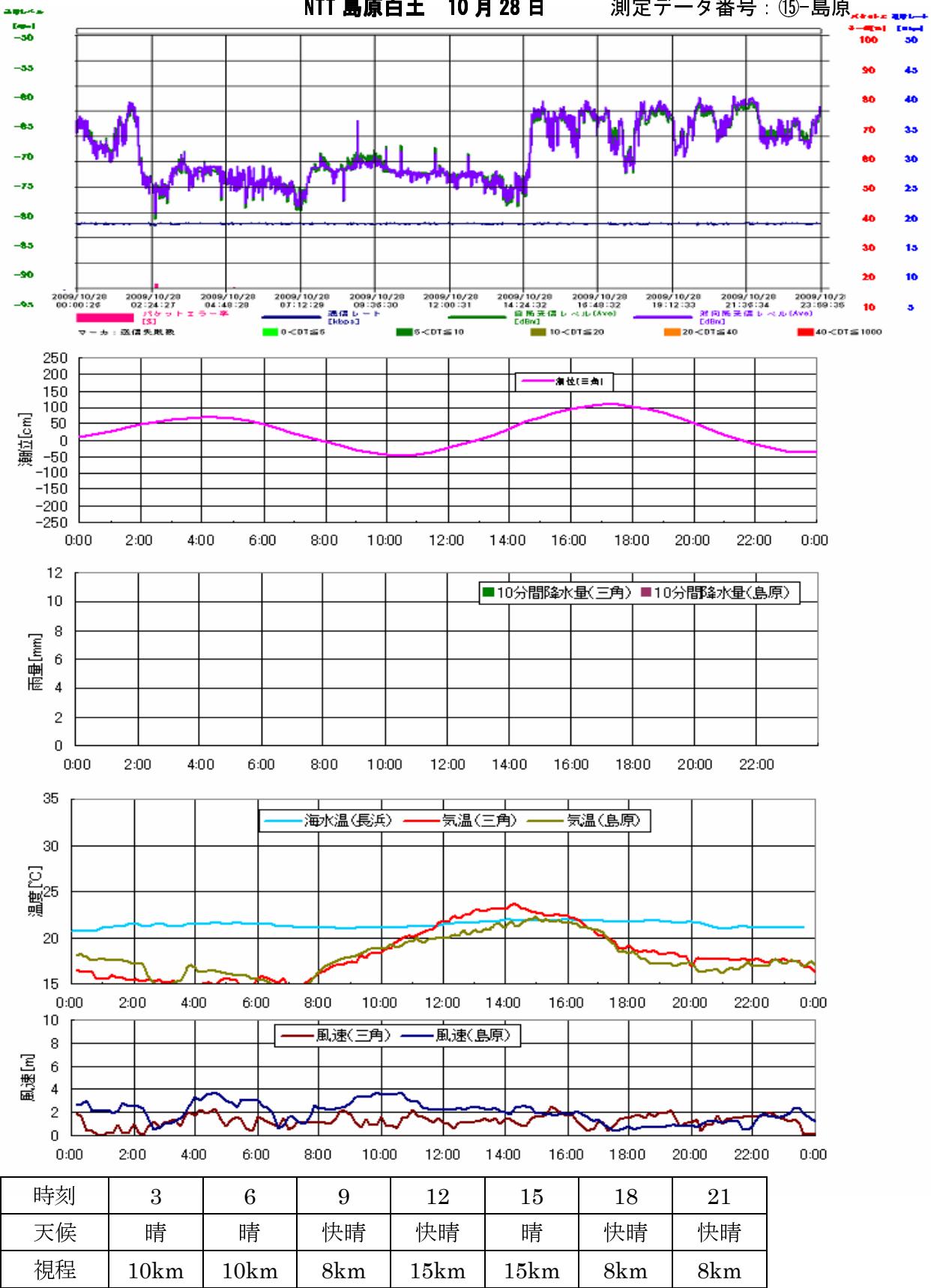
NTT 島原白土 10月27日

測定データ番号 : ⑯-島原



NTT 島原白土 10月28日

測定データ番号 : ⑯-島原



用語集

目次	用語	説明
あ	誤り率 (error rate)	デジタル伝送において受信信号に誤りの発生する確率。復号により推定した情報系列の個々の記号が誤っている確率を復号後の記号誤り率と呼び、2元符号の場合をビット誤り率という。
	アンテナ (antenna)	空中線ともいう。空間に電波として電力を放射し、又は空間を伝搬している電波を吸収して電力を得る装置で、昆虫の触角が原義。アンテナは電線等導体中を伝わる電力信号の電力と空間を伝搬する電波の電力の変換の役目を果たしている。
	アンテナの特性 (antenna characteristics)	<p>指向性、利得、開口効率等で表されるアンテナの性質や性能。</p> <p>① 指向性 指向性は、電波が特定の方向にいかに効率的に放射されるかを表す度合。指向性は通常最大放射方向の電力が半分になる角度、電力半値幅（HPBW）で表す。</p> <p>② 利得 与えられたアンテナの入力部に供給される電力に対する、与えられた方向において同一の電界に生ずるために基準空中線の入力として必要とする電力の比をいう。アンテナの利得の表し方として絶対利得と相対利得があり、前者は基準空中線として等方性アンテナを用いたときの利得、後者は半波長ダイポールアンテナを基準空中線としたときの利得をいう。</p> <p>③ 開口効率 開口面アンテナの実効面積と幾何学的開口面積との比。受信アンテナから取り出しうる最大電力が、ある一定の面積内に運ばれてくる到来電波の電力に等しいとき、その面積を実効面積といい、一般に実効面積はその幾何学的開口面積より小さい。</p>
	アンテナの偏波 (polarization of antenna)	アンテナを構成する素子、あるいは素子の配列によって決まる電波の偏波であって、電界成分の方向で表す。直線素子で構成されるアンテナの場合（ダイポール、八木など）はその素子の方向の直線偏波となる。ダイポールアンテナ等を2つ、直交させて互いに90度の位相差を持たせて給電すると円偏波アンテナになる。また、大地に対するアンテナの置き方から水平、垂直偏波と呼び方をすることがある。マイクロ波以上の周波数では、ホーンや平面アンテナなどが使われ、外見上は偏波を区別し難いものが多い。
	アンテナパターン (antenna pattern)	アンテナの指向性を示した図形をいう。直線偏波アンテナの場合、アンテナ素子を含む平面上の指向性を電界面（E面）指向性、これと直角の面上を磁界面（H面）指向性と呼び、これらの面が水平、垂直である場合を特に水平面/垂直面指向性という。
い	異常伝搬 (abnormal)	特異な自然現象が原因で、電波が通常と異なる伝播すること。VHF帯のテレビ電波が不規則に現れるスポラディ

	propagation)	ツクE層で反射されて遠方にまで伝搬したり、上空温度の逆転層が原因で発生するラジオダクトによってマイクロ波が見通し外まで伝搬したりすることをいう。
	位相 (phase)	正弦波とみなせる波動の1周期を基準にした相対位置。ラジアン、度等で表される。
	位相同期 (phase synchronization)	信号の位相を他の信号の位相に同期させること。
	一次放射器 (primary radiator)	パラボラアンテナ、カセグレンアンテナなどの反射鏡に電波を照射するための放射器のこと。一般にホーンアンテナ、LPアンテナ、直交ダイポールアンテナ等が用いられる。
	移動局 (mobile station)	移動しながら通信を行なうことができる無線局の総称。船舶局、遭難自動通報局、船上通信局、航空機局、陸上移動局、携帯局その他移動中または特定しない地点に停止中運用する無線局をいう。
	移動通信 (mobile communications)	特定しない地点と一定の固定地点との間又は特定しない地点相互間で行われる無線通信。特定しない地点には、移動中又は一時停止中の地点も含まれる。移動通信に対比される固定通信は、一定の固定地点間の無線通信。移動通信は、車両などの移動体等の移動する範囲の違いにより、陸上移動通信、海上移動通信及び航空移動通信に分類することができる。衛星を経由する移動通信は、移動衛星通信に分類される。移動通信の代表的なものとして、携帯・自動車電話やPHS、MCA陸上移動通信等がある。
	インターフェース (interface)	異なる装置やシステムを支障なく結合するための手段をいう。例えば、パソコンの装置を人が使いやすいようにするための工夫を、マン・マシン・インターフェースなどという。
え	エンコーダ (encoder)	デジタル伝送方式において、時間的に連続的な情報源（アナログの音声、画像等）をデジタル信号に変換することを符号化するといい、符号化を行う回路を広義のエンコーダ（符号器）という。エンコーダは、アナログ信号から周期的に信号の振幅を取り出し、この振幅を離散的な値で表して（量子化）、これを有限の符号の有無の組合せで表すことにより、デジタル信号に変換するものをいう。量子化により得られた離散的な振幅値をパルス符号に対応させることを狭義のエンコーダといふ。振幅値と符号の対応のさせ方（符号形式）として、一般に2進2値符号が用いられている。2進2値符号として、自然2進符号、交番2進符号及び折り返し2進符号が多く用いられる。
お	オシロスコープ (oscilloscope)	信号電圧の瞬時値を検出し、検出した電圧値とその時間的な変化をブラウン管上に2次元的に表示して波形として観測する測定器をいう。検出方式によりリアルタイム形とサンプリング形とがある。サンプリング形は信号の周期性に同期して離散的に検出することによりリアルタ

		イム形と比較し数十倍の信号電圧を記憶して表示させる蓄積表示形もある。
か	回折 (diffraction)	電波が障害物の陰まで回り込むこと。これにより電波は見通し外領域にまで伝わる。回折の起こる度合は電波の波長に依存し、波長が長いほど障害物の裏側まで回りこみやすい。通常見通しができない山岳の裏側に電波が伝搬することを特に山岳回折伝搬という。
	回線設計 (circuit design)	送受信点間で情報の教授を確保するため空中線電力、送・受信空中線利得、伝搬路損失、受信機感度など所要の条件で検討すること。
	回線品質 (circuit quality)	通信に使用される回線設備に要求される技術の一つ。明瞭で中断等のない良質な通信を可能とさせるためには、これに使用される回線設備が一定の品質条件を満足する必要がある。
	解像度 (image resolution power)	画像の再現能力を表す度合い。レンズ、感光材料、撮像デバイスなどの細部再現能力の限界値。等間隔の白黒縞のパターンを用いて、間隔を次第に小さくして縞がやっと分離して見える限界点。テレビジョンでは最小間隔の縞が画面の高さ方向に収まる白と黒との合計本数で表す。
	外部雑音 (external noise)	受信アンテナ系等を通じて受信される雑音。人工雑音、自然雑音等によるものがある。
	画素 (picture element)	画面を構成する最小面積単位。テレビジョンやファクシミリでは、一般的に走査線間隔を 1 辺とする正方形が 1 画素になる。また、画像を符号化した場合の最小の要素をピクセル(pixel)という。
	画像圧縮 (picture compression)	テレビジョン方式を用いて動画を伝送する場合、そのままでは大きい帯域を必要とするので、情報信号をデジタル化した上で冗長性を省く処理を行い、伝送する情報量を減らすことにより伝送帯域幅を小さくする。圧縮方式の世界標準としては MPEG 方式が広く用いられており、パソコン情報網での利用も普及しつつある。
	干渉 (interference)	一般に、異なる波動が同一地点に到達したとき、波動の位相が合成されて強め合ったり弱め合ったりする現象。電波では、他の無線局からの妨害など通信系に混入する妨害現象を指す。
	感度 (sensitivity)	受信機において、定められた条件の受信機出力が得られる受信機入力の最小値。
き	基地局 (base station)	陸上移動局との通信（陸上移動中継局の中継によるものを含む）を行うため陸上に開設する移動しない無線局（陸上移動中継局を除く）。携帯電話、MCA 無線、タクシー無線などの移動する無線局と通信を行うために、ビルの屋上や営業所等に設置される無線局。
	給電線 (feeder)	送信機と出力端子又は受信機の入力端子と空中線とを接続し、高周波エネルギーを伝送するために用いる線路のこと。平行二線、同軸ケーブル、導波管等がある。
	給電線損失	送信機の出力電力又は空中線受信電力の一部が、給電線

	(feeder loss)	において熱などに変化したり、電波として輻射されることによる損失。
	球面大地伝搬 (spherical ground propagation)	地球の球面を考慮する必要がある遠距離の電波伝搬。見通し距離内における電波伝搬であっても、遠距離になると大地は平面として扱えないので反射係数が変わり、球面反射によるエネルギーの拡散等が生じる。
く	空中線高 (antenna height)	地上高で表され、無線局の種別、空中線の型式等によって空中線素子の最高部までの高さ（接地空中線の場合）又は空中線の放射体の中心までの高さによって表す。
	空中線電力 (antenna power)	送信機から空中線系に供給される電力。電波の型式等の区分に従って尖頭電力、平均電力、搬送波電力、規格電力により表される。
	屈折 (refraction)	電磁波が状態の異なる媒質の境界面で進行方向を変えて進む現象。電磁波の一種である光と同様に、電波も大気と水の境界面または高さと共に屈折率の変化する大気中を伝わる際に屈折する。
け	減衰 (attenuation)	伝送過程におけるエネルギーの減少をいう。
	減衰器 (ATT:attenuator)	回路の途中に挿入して、電力を減衰させる機能を有するもの。減衰量が一定の固定形と減衰量を任意の値に変化することができる可変形とに分けられる。抵抗値を変化させるもののほか、リアクタンスを変化させるものもある。
こ	コーデック (codec)	信号をデジタル符号化する装置(coder)と符号化されたデジタル信号を復号する装置(decoder)とが一対になったもの。
	降雨減衰 (rain attenuation)	電波がその伝送路に発生する雨滴などによって散乱あるいは吸収を受けて減衰すること。減衰の程度は雨量や電波の周波数などに依存し、雨量が多いほど、また周波数が高いほど減衰量が大きい。普通 10GHz 以上の電波を使用する場合、この降雨減衰を考慮に入れる必要があるので、回線設計の際に予想される減衰量（レインマージン）を見込む必要がある。
	固定局 (fixed station)	固定業務を行う無線局。電気通信事業者のマイクロ中継回線用無線局等がある。
さ	散乱波 (scattered wave)	対流圏内で気温・湿度の不規則な分布や雨滴、電離層の電子密度の不規則分布、海面の波浪、山岳、都市の建築物など反射体の不均一性により散乱されて伝搬する電波。受信点から見て電波の伝搬方向と逆に送信点側の方向に散乱することを後方散乱、送信点と反対の方向に散乱するものを前方散乱という。電磁波を照射し、ある方向に届く散乱波の大きさを実効的に表すのに散乱体の散乱面積が使える。
し	磁界 (magnetic field)	磁石相互、磁石と電流又は電流と電流の間に働く力の場。磁界の強さの単位は A/m で表される。
	自然雑音 (natural noise)	自然現象により発生する電波雑音で、空電等がある。

	実験無線局 (experimental radio station)	電波法 5-2 に基づき科学又は技術の発達のための実験に専用する無線局。一般的には実験局という呼称を使用することが多い。
	周波数 (frequency)	電波、音波、振動電流などの周期現象の、1秒間の変化の回数（振動数）。その単位は、以前はサイクルで表記されたが、現在はヘルツ(Hz)で世界的に統一されている。
	受信電力 (receiving power)	電界中に置かれた空中線の端子に受信機等の負荷を接続すると、電界エネルギーは電力として負荷に供給できる。このときの電力を受信電力という。
	信頼性 (reliability)	システム又はシステム要素が、規定された運用期間において、規定の時間及び規定の条件下で要求された機能を遂行する確率。
す	スループット (through-put)	コンピュータやデータ伝送の分野では、「一定時間にシステムが処理できる仕事量を表す尺度」の意味で使われている。例えば、何分間に何件のデータ受付処理が出来る、といった数値がこれに相当する。
	スレッショルドレベル (threshold level)	しきい値。たとえば FM（周波数変調）受信機では、通常受信入力が低下するとそれに比例して出力の品質も低下するが、受信限界に近いあるレベル以下になると急激に SN 比が低下する。そのレベルのことをスレッショルドレベルという。
そ	送信電力 (transmitting power)	一般には送信機の出力電力。電波法では空中線電力として定義されている。
	増幅器 (amplifier)	入力信号よりもエネルギーの大きな出力信号を取り出す装置。入力信号は情報としての働きをするのみであり、出力信号用のエネルギー供給源が必要になる。出力と入力の振幅比を増幅率といい、通常 1 以上である。特性の関係では、雑音、利得、ひずみ率、周波数特性、無ひずみ最大振幅等が重要である。
た	ダイバーシティ受信 (diversity reception)	フェージングを補償または軽減して、受信波の品質を改善する方法としてダイバーシティ受信が用いられる。 (1) 空間ダイバーシティは、空間的に数波長以上離れた 2 地点間では、受信強度変動の相関が小さいことを利用して、複数の地点で受信した信号を合成または切り替えて使用する方法である。 (2) 偏波ダイバーシティは、偏波の異なる 2 つのアンテナで受信した信号を合成する方法である。 (3) 指向性の異なる複数のアンテナを用いて、到來方向の変動する受信波を合成するのが角度ダイバーシティである。 (4) 選択性フェージングに対しては、接近した異なる周波数で受信した信号を合成する周波数ダイバーシティが有効である。 (5) 送受一体となって、時間をずらして発信と受信合成を行うのが時間ダイバーシティである。 (6) ミリ波帯を用いた衛星通信において、強い降雨による減衰に対応するため、数 10km 離したアンテナを雨域の移

		動につれて切り替えて受信するサイトダイバーシティが用いられる。
	多重通信方式 (multiplex telecommunication)	通常一つの搬送波を複数の情報伝送路に利用する通信方式。周波数分割多重通信方式、時分割多重通信方式、テレビジョン音声多重方式はその代表例である。
ち	チャネル (channel)	種々の情報伝送のために利用できる通話路又は通信路。また、ある通信システムに割り当てられた無線周波数帯を無線チャネル(radio frequency channel)、RF チャネル又は単にチャネルともいう。
	直線偏波 (lineally polarized wave)	電波の進行方向に垂直な面内における電界成分ベクトルの軌跡が、一つの直線内を振動するような偏波。偏波面が大地に対して垂直な直線偏波を垂直偏波、水平なものを水平偏波という。
つ	通路長差 (path-length difference)	受信点に到来する直接波とそれ以外の電波との通路長の差。通常、受信点には直接波、大地反射波、電離層反射波、建物からの反射波など経路を異にする多くの電波が到来する。それらの通路長の差は、合成波の振幅及び移動を乱し、フェージングなど回線品質に影響を与える。
て	デコーダ (decoder)	復号器。エンコーダにより符号化された信号を元の符号化前信号に戻す装置。エンコーダとデコーダをあわせてコーデック(codec)という。
	デシベル (decibel: dB)	2つの量の比を示すため電気通信分野において多用されている単位。対象とする量と基準値のとり方に応じて種々の添字を付けて用いられ、電波関係では次のものが多く用いられる。 ①dB : 相対的な電力比 $10 \log_{10}(P_1/P_2)$ 又は電圧比 $20 \log_{10}(V_1/V_2)$ ②dBW : $P_2=1W$ を基準とする相対電力 ③dBm : $P_2=1mW$ を基準とする相対電力 ④dBr : 相対レベル及びレベルダイヤでのレベル ⑤dB μ : $1\mu V$ を基準とする電圧 ⑥dB μV/m : $1\mu V/m$ を基準とする電界強度
	電界 (electric field)	正または負の電荷の周囲の空間に存在し、正又は負の電荷を同種は反発し、異種は吸引する力を及ぼす場。また、電界は電化の移動又は電界の変化によっても誘起され、移動する電荷の周囲又は変化する磁界と直角に交叉して形成される。電界の強さの単位は V/m で表される。電界は静電界と誘導電界及び放射電界に分けられるが、無線では放射電界を単に電界と呼ぶことが多い。
	電界強度 (electric field strength)	電磁波の電界の強さ。空間中のある点で電界方向に置いた単位長の導線に誘起する電圧として V/m の単位で表される。周波数、位相、偏波、到来方向、伝搬時間などと共に電波の伝搬を特性付ける要素。
	電磁波 (electromagnetic wave)	電界と磁界を有する波動。電界と磁界が同時に振動しながら空間や物質中または真空中を伝搬する現象で、真空中は高速で伝搬する。真空中を伝搬する電磁波の電界と磁界の振動方向はどちらも進行方向と直角であり、また

		互いに直角をなす。電磁波は波長の長短（あるいは周波数の高低）によってその性質が著しく変化し、無線通信等で利用されている電波（周波数が 300 万 MHz 以下の電磁波）や可視光線の他、紫外線、赤外線、X 線、γ 線も電磁波である。また、可視光線を含む高い周波数の電磁波では、波動としての性質のほかに、粒子的な性質も示し、現在は量子電磁気学によって、その二重性が統一的に把握されている。
	伝送 (transmission)	有線、無線の通信回線を用いて電気信号を送り伝えること。情報の種類や通信の目的などにより様々な方式がある。
	伝送速度 (transmission rate)	電気通信において単位時間に伝送される情報量。単位時間を秒(s)、情報量の単位をビット(bit)とし、bit/s、b/sあるいは bps 等が単位記号として使用されている。
	伝送品質 (transmission quality)	情報伝送の確実性を表す通信サービスの品質。品質を劣化させる要因として、アナログ伝送の場合には伝送損、エコー、雑音、減衰ひずみ、漏話等があり、デジタル伝送においては符号誤り、ジッタ、スリップ、伝送遅延等がある。
	伝送路 (transmission path)	電気的な手段を用いて情報を伝達する経路。有線、無線等の各種伝送媒体及び変復調等の装置から構成される。
	電波 (radio wave)	電磁波の一種で 3THz 以下の電磁波。一般には電磁波を概念的に電波と称することもあるが、国際電気通信条約では[人工的導波体のない空間を伝搬する当面は 3000GHz より低い周波数の電磁波] (RR-VI) を電波と定義しており、また日本の電波法では[「電波」とは、300 万 MHz 以下の周波数の電磁波をいう] (法 2-1) と定めている。なお、ITU-R では 3000GHz 以上の周波数の電磁波についても条約で定める任務を有することとしている。
	電波伝搬 (radio propagation)	電波エネルギーが電波媒質中を伝わること。電波を利用して情報を伝送する電波利用システムは、基本的に送受信機、アンテナ及び伝搬媒質から構成されている。地球上の伝搬媒質は大地、対流圏及び電離圏に大別されるが、各媒質が電波に与える影響は周波数によって異なるため、周波数に応じて媒質ごとに各種の電波様式が生じる。
	電波伝搬路 (radio propagation path)	受信電力に寄与する電波エネルギーの大部分が通過する空間。相受信点間に幾何学的又は準幾何学的に考えた電波通路で代表せざることがある。また、電波通路の伝搬媒質により地上伝搬路、対流圏伝搬路、電離層伝搬路等に分けられる。
	電波法 (Radio Law)	昭和 25 年に制定された我が国の無線局制度の基本法。戦前の無線局制度が政府の強い管理統制下に置かれていたのに対し、戦後、無線局に対する政府の規制を可能な限り排し、電波利用を広く国民に開放するとの考えを基本に制定された。電波の有限希少性や広範な伝搬特性等他のメディアにない電波の特性等に着目し、周波数資源の有効利用や無線利用全体の秩序の維持等の観点から、無

		線局の運用に際しては原則として免許制度を採用するとともに、無線局の操作に当たる者に一定の資格を義務付ける無線従事者制度の採用を大きな柱にしている。
	伝搬路設計 (propagation path design)	伝搬路の諸元に基づいて、所要のアンテナ高、アンテナ利得等を算出する作業。伝搬路の諸元としては、クリアランス（送受信点間の幾何光学的な電波通路とその通路上に存在する山岳や建物等の障害物との高さの差）、反射点の位置、反射波の強度、ダイバーシティ効果等がある。
と	等価地球半径 (effective radius of the earth)	電波の伝搬路を幾何光学的に考えた場合、直線として取り扱うことができるようした仮想的な地球の半径。マイクロ波回線の回線設計を行う上で必要な諸元の一つとして使用される。温帯地方における平均的な等価地球半径係数Kの値は約4/3である。
	同軸ケーブル (coaxial cable)	円筒状の外部導体とその中央にある中心導体からなるケーブル。平衡形ケーブルと比較して、高周波での減衰が小さく、外部へのもれが少ないという特徴がある。またインピーダンス均等性の確保が容易であり、長距離の広帯域伝送に適している。
ぬ	ヌル点 (null point)	アンテナの指向特性で、利得がなくなる方向に示す点。
ね	ネットワーク (network)	電気通信網。通信端末、伝送回路及び交換機から構成される。電気通信は網構成などにすることによって、効率よく通信することができるようになる。移動通信網、電話交換機網、データ通信網、画像通信網、地域通信ネットワーク等多様なネットワークがある。
の	ノイズ (electrical noise, radio noise)	電気的雑音または電波雑音。所要の信号に混入し、正常な通信又は信号処理を妨げる成分。その発生源により、空電などの天然現象や他の電気機器等から発生する熱雑音などの内部雑音に分けられる。また、雑音の性質により、ハム雑音等の周期性雑音及び成分の強さが周波数に無関係に一定な白色雑音などの不規則性雑音に分けられる。雑音が含む周波数領域は、超低周波からマイクロ波、ミリ波に及ぶ広い範囲にわたっている。
は	バースト誤り (error burst)	デジタル伝送において、連続して発生する誤り。誤りには不規則に発生するランダム誤りと情報の一部が連続して誤るバースト誤りに分類される。
	ハイトパターン (height pattern)	地上での電波伝搬において、受信する点での高さ方向の電界分布が、直接波と大地反射波との干渉のために周期的な強弱を示すことをいう。周波数が高くなると強弱変化の周期は小さくなる。
	波長 (wavelength)	波の1周期の長さで、伝搬速度を周波数で割ったもの。通常、電波は真空中では光の速度で伝搬することから、光の速度をc、周波数をfとしたとき、波長はc/fとなる。
	パラボラアンテナ (parabolic reflector for antenna)	一次放射器からの電波を反射し、波面を揃えて指向性を増すための回転放射線(parabolic)反射鏡を持つアンテナ。
ひ	ヒステリシス現象	履歴現象。関連性のある二つの値の一方を変化させた時、

	(hysteresis effect)	同一の値であるにもかかわらず、増加させた場合と減少させた場合によって他の一方の値が異なる現象。例えば、磁性体に磁界を加えて、その強度を増加、減少させた時、磁性体の磁化される度合が異なる。
	ビット誤り率 (bit error rate:BER)	対象とする情報のビット総数に対して誤って認識したビットの数の割合。品質を示すものとして使用される。デジタル伝送において、受信側で受信される信号は雑音や帯域制限などによってビットの誤りが生じる。
	ビットレート (bit rate)	1秒間に伝送できるビット数。デジタル伝送の伝送速度を表し、単位としては、bit/s や bps が使用される。
ふ	フェージング (fading)	<p>受信電界の強さが電波に通路となる媒体の状態の影響を受けて時間的に変化する現象。フェージングの分類は、現象別、要因別に大別でき、その代表的なものは次のとおり。</p> <p>①現象別</p> <p>ア 時間的な変化（規則性、不規則性） イ 選択性：使用周波数の差によって異なった影響を受ける。 ウ 同期性：選択性フェージングに対して上下側波帯ともに同じような影響を受けている。 エ 偏波性：偏波面の変動によって空中線誘起電圧が変動する。 オ 散乱性：媒体内で電波の進行方向が変化する。 カ 跳躍性：電離層での突抜けと反射の条件が時々刻々変わることにより、受信電界が弱くなったり、強くなったり、大きく変動する。</p> <p>②要因別</p> <p>ア ダクト性：対流圈伝搬の場合に伝搬路上に発生したラジオダクトに起因して発生するもの。 イ K形：大気の高さに対する屈折率の変化によるもの。 ウ 干渉性：複数の受信波相互の干渉によって発生するもの エ シンチレーション：大気の不規則な変化によって発生するもの。 オ 吸收性：電離層内での吸収の変化により、比較定ゆつくり変化するもの。</p>
	フェージングマージン (fading margin)	無線通信の回線設計等において、フェージングによる信号強度の低下が起きても、回線を確保できるように、受信強度を計算する際に見込む、フェージングに対する余裕の程度。
	フレネルゾーン (Fresnel zone)	無線通信を行う際に、通信を行う双方のアンテナ間で電波が伝わる範囲を示した言葉。電波は通常、途中で広がってから再び収束する、ラグビーボールのような形状を持つ範囲を伝搬する。この範囲内で、複数の経路を通じて相手に電波が届く。
	ブロードバンド (broadband)	具体的な境界は決まっていないが、インターネット接続回線のうち、通信速度が数百 kbps 以上のものを意味する

		が多い。具体的には、xDSL、CATV、光ファイバー、無線（FWA）が該当する。
	プロファイル (profile)	見通し図。伝搬路断面を高さ方向に拡大し、等価地球半径を用いて電波通路を直線で作図できるようにした図。
へ	平均電力 (average power)	通常の動作中の送信機から空中線系の給電線に供給される電力であって、変調において用いられる最低周波数の周期に比較して十分に長い時間（通常、平均の電力が最大である約10分の1秒間）にわたって平均されたもの。
	ベクトル (vector)	大きさと方向を持つ量。大きさのみで決まる量をスカラ（量）という。例えば、ある方向に伝搬する電波は、光速と伝搬方向とのスカラで表されるベクトル量である。また、交流電圧、インピーダンス等のように振幅と位相をもつベクトルは特にフェイザという。
	偏波 (wave polarization)	電磁波の電界成分が、ある特定の振動成分を持っているとき、電磁波は偏波しているという。振動方向を含む面を偏波面という。電磁波の進行方向に対して垂直な平面を考える。それを横切って進む電磁波の電界ベクトルの先端が、時間の経過とともに平面上に、直線を描くときを直線偏波、回転しながら楕円（または円）を描くときを楕円（または円）偏波という。直線偏波のうち、テレビ電波のように電界ベクトルが水平なものを水平偏波、また中波ラジオ波の地表波のように電界ベクトルが地表に対して垂直なものを垂直偏波という。 偏波面の回転に関して、電波工学では電波の進行方向を向いて見たとき、平面上の回転する軌跡が右回り（時計回り）のときを右旋、左回りのときを左旋という。
ほ	放射器 (radiator)	給電された電波を放射するエレメント。受信用としても可逆的に使用される。
ま	マイクロ波 (microwave)	周波数が約1GHz以上の電波の総称。現在の周波数帯の区分が定義される以前に漠然と短波長の電波の呼称として用いられてきたので、現行周波数帯との正確な対応はできない。
	マルチパス (multi-path)	電波が送信点から複数の伝搬路を通って受信点に到達する現象。この場合、伝搬路の相違により振幅や位相の異なる電波が合成されるため、合成波形はもとの信号波形と異なり、ひずみが生じる。マルチパスに起因する受信信号の変動をマルチパスフェージングという。
む	無線LAN (wireless LAN)	LANの物理媒体として、電波や赤外線を利用するもの。ケーブルを引き回さずにネットワークを利用できるため、レイアウト変更の多いオフィスや、ケーブル敷設が難しい店舗などでメリットが多い。免許不要で利用できる2.4GHz帯、あるいは5GHz帯の電波を使用する製品が主流。
ら	ラジオダクト (radio duct)	対流圏伝搬において、特定の高度に沿って発生する溝（ダクト）状の伝搬路。気温の高さ方向の分布が逆転する（通常気温は高さとともに低下するが、その度合いが小さくなったり、逆に気温が上がったりする）場合に、大気屈折

		折率が高さとともに急激に減少し、M曲線に負の傾斜が生ずる。この部分をラジオダクト（または単にダクト）という。VHFからUHFの電波がダクトの中に入射すると異常に強い屈折を受け、地表での反射と大気中での屈折を繰り返して電波がはるかに遠くへ到達したり、ダクト内に電波がトラップされて近くの受信点に到達しなかったりする。
れ	レイヤー3スイッチ (Layer 3 switch)	マルチレイヤー・スイッチの一種。LANスイッチのうち、OSI第3層（ネットワーク層）の情報を用いてスイッチングを行うもので、ルーティング・スイッチともいう。IPに対応する製品が主流。 機能的にはルータと同じだが、ソフトウェアで処理するルータと異なり、特定用途向けIC(ASIC)を用いたハード処理を行う。このため、ルータと比較して高速な処理が可能。スイッチによるルーティング処理を実現するため、接続先のIPサブネットごとに別々のVLAN(バーチャルLAN)を設定して、VLANとネットワーク・アドレスを関連付ける。IPアドレスで中継先を判断した上でLAN相互間のスイッチング処理を行うと、ルータと同じ機能を、より高速に実現できる。
	レイリーフェージング (Rayleigh fading)	電界強度の時間的な確率分布がレイリー分布で近似されるようなフェージングをいう。一般に、多数の多重波がランダムに干渉する場合に発生するフェージングのことをいい、その周期は周波数が高いほど短い。
	レドーム (radome)	アンテナを風雨から守るためのドーム。回転型のアンテナでは全体を覆う形式であるが、固定のパラボラアンテナでは開口面のみを覆う平板又はコーン形が使用される。
B	BPSK (Binary Phase Shift Keying)	「2値位相偏位変調」と訳される。位相変調を利用したデジタル変調方式で、デジタル変調としてはもっともシンプルなもの。搬送波（キャリア）の位相を「0」、それとは逆の位相（180度ずれた位相）を「1」の割り当てるもので、受信側では、搬送波からの位相のずれを検出することで、送られた信号が「0」か「1」かを識別する。
D	DS-SS (Direct Sequence-Spread Spectrum)	スペクトラム拡散通信方式の一種。幅広い周波数帯域に薄めて送信するために「拡散」という名称がある。利用例としては、IEEE802.11無線LAN、GPS、cdmaOne携帯電話がある。 送信側は、QPSK(4値位相偏位変調)などで一次変調した結果に対して、高い周波数のPNコード(Pseudo Noise:擬似乱数)を乗じる処理を行う。すると、送信する電波の帯域が、元の平均周波数に対するPNコード周波数(チップレート)の比率に相当する分だけ拡散して、帯域あたりの電力密度は小さくなる。拡散の比率は10～1000倍程度。拡散してから変調を行う製品もあるが、どちらでも結果は同じ。受信側では、送信側と同じPNコードで送信時と逆の処理を行い、信号を元に戻す。拡散によって帯域あたりの電力密度が小さくなるため、ノイズや妨害電波の影

		響を受けにくく、傍受も難しくなる。
E	EIRP (equivalent isotropically radiated power)	等価等方輻射電力。送信系の性能を示す指標。アンテナに供給される電力と、等方性アンテナに対するアンテナの利得の積。アンテナ利得に主ビーム方向の値を使用した場合は最大 EIRP という。
F	FTP (File Transfer Protocol)	TCP/IP 用のファイル転送プロトコル、あるいはそのプロトコルを利用してファイル転送を行うアプリケーションそのものを示す。FTP はソケットアプリケーションで、ポート番号 20 を制御用に、ポート番号 21 をデータの転送用に使用する。 もともと、FTP はキャラクタベースのアプリケーションだったが、そのままでは使用勝手が良くないため、現在では GUI ベースで動作する FTP アプリケーションが主流となっている。
I	IEEE (Institute of Electrical And Electronics Engineers)	電気電子技術者協会。米国及び世界の電気電子工学の研究を推進する目的で、電気技術者協会(IEE)と無線技術者協会(IRE)が合併して、1963 年に米国で設立された世界最大の技術者団体である。
	IEEE802.11j	5GHz 帯を使用した日本向けの無線 LAN 規格で、IEEE802.11a の追加規格という位置づけ。電気通信事業者用の中継用固定局が利用している 4.9GHz 帯と 5GHz 帯を無線 LAN 用に公開することになり、IEEE が追加規格として承認した。アメリカでは、公安関連やセキュリティ通信網が 4.9GHz 帯を使用しているので、無線 LAN では利用できない。
L	LAN (local area network)	限定的な範囲で、複数のコンピュータなどを接続して構成したネットワークを指す言葉。使用するハードウェアやソフトウェア、規模に関する明確な規定はないが、一般的にはオフィス、あるいは、ビルの 1 フロア～ビル全体、あるいは学校、工場程度の規模を対象とする。
M	MPEG (Moving Picture Experts Group)	動画像データの圧縮フォーマットを標準化する目的で、1988 年に国際標準化機構(ISO)の下部機関として設立した組織。あるいはこの組織が策定した圧縮フォーマットの総称。
	MPEG-2	MPEG が標準化した動画像の圧縮符号化フォーマットで、放送・通信・蓄積メディアのいずれでも使用できる。使用例としては DVD やデジタルテレビ放送がある。 当初はビットレート 5Mbps～10Mbps 程度を想定していたが、HDTV 用として規格化を進めていた MPEG3 を取り込んだため、ビットレートの上限を HDTV のレベルに合わせて 70Mbps まで引き上げている。ただし、実際に HDTV 放送が用いるビットレートは 15Mbps～30Mbps 程度、BS デジタル放送では約 22Mbps となっている。一方、オーディオのビットレートは 384kbps～448kbps で、低サンプリングレートと、マルチチャンネル機能を追加している。圧縮方式はフレーム間動き補償予想誤差と離散コサイン変換

		(DCT)の併用。
	MPEG-4	MPEG が標準化した動画像の圧縮符号化フォーマットで、バージョン 1/2/3/4 の 4 種類がある。低ビットレートの通信手段を介した利用を想定しているため、当初は 64kbps 程度の低ビットレートを想定して開発を始めたが、符号化効率の向上などにより、対象範囲を 5kbps～4Mbps と広く取ることができた。また、映像中のオブジェクト別に符号化を行う機能や、自然画像と合成画像を統合する機能などが加わっている。実装仕様として、Simple Profile(SP) と Advanced Simple Profile(ASP) の 2 種類がある。
N	NTSC (National Television System Committee)	日本や北米などで用いているテレビ放送の方式。インターレース表示で縦方向に 525 本の走査線を持ち、1 秒間に 30 フレームを表示する。
O	OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)	直交周波数分割多重。高品質・広帯域通信を目的とした無線伝送技術の一種。地上デジタル放送や、IEEE802.11a/g 無線 LAN などの使用例がある。OFDM では、フーリエ変換によって分割した複数の搬送波で通信路を構成する。狙いはビットあたりの伝送時間を短くせずに速度を向上することで、搬送波の間隔が狭いために電波の利用効率が向上する。また、複数の搬送波に分割しているため、個々の搬送波で伝送するデータ・シンボルあたりの時間を長く取れるだけでなく、一部の周波数にノイズの影響があっても全体への影響が少ない。さらに、時間軸方向にガード・インターバルという冗長なタイミングを設定しているため、フェージングやマルチパスにも強い。
P	PN コード (Pseudo Noise code)	「擬似雑音コード」と訳される。ランダムに「+1」あるいは「-1」の値を取る矩形波で、直接拡散(DS)方式の通信を行う際に、元のデジタル信号を広い周波数帯域に拡散させる目的で使用する。この矩形波の値が変化する速度をチップレートといい、通常は元のデジタル信号のビットレートと比較して数倍～数千倍程度の値を使用する。IEEE802.11b 無線 LAN の場合、11 ビットの特殊なパターンをとる PN コードを 1MHz の周期で反復させた、11Mbps の信号で拡散させている。IEEE802.11b では、さきに PN コードを拡散させてから DBPSK、あるいは DQPSK に変調しているが、変調してから拡散しても結果は同じになる。なお、元のデジタルデータが「1」のところに PN コード「1」を乗じると位相はそのまま、PN コード「-1」を乗じると位相は反転する。元のデジタルデータが「0」なら、PN コードがどちらでも位相は変わらない。
Q	QAM (Quadrature Amplitude Modulation)	「直交振幅変調」と訳される。アナログ波の振幅と位相の組合せに対して、それぞれ個別にビット列を割り当てる変調方式。デジタル無線通信方式、電話回線用モ뎀、ケーブルモ뎀などに使用例がある。狭帯域での高速の通信を可能にするが、フェージングに弱い欠点がある。

		振幅と位相にそれぞれ複数の段階を設定して、それらの組合せで構成する平面上にシグナルポイントを配置してデータを割り当てる。たとえば、振幅と変調をそれぞれ4段階ずつ変化させると、表現できる情報量は $4 \times 4 = 16$ 種類=4ビットとなる。これを 16QAM と呼び、ひとつのシンボル（1 クロック）で 4 ビット（16 値）の情報を伝送できる。この他にも、1 シンボルで 6 ビット（64 値）の情報を伝送する 64QAM、8 ビット（256 値）を伝送する 256QAM などがある。
	QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)	「4 値位相偏位変調」と訳される。電話回線のモデム（2400bps）や、ケーブルモデムの低速領域に使用例がある。 QPSK では、1 回の変調で 2 ビット分（4 値）のデータを伝送できる。BPSK（2 値位相偏位変調）では位相点として 0 度と 180 度のみ使用するが、QPSK ではそれに加えて、90 度と 270 度の位相点も使用する。ひとつのシンボルで 4 つの状態、つまり 2 ビット分の情報を伝送できるので、伝送できる情報量は BPSK の 2 倍。この 4 つの位相点のベクトルが直角に交わるため、直交位相変調ともいう。
R	RSSI (Receive Signal Strength Indication)	受信した電波信号の強さを数値化した指標のこと。
	16QAM (16 value quadrature amplitude modulation)	高性能デジタル変調方式の一種。QAM 方式のうち 4 値 PSK 波を直交合成した、信号点数 16 のものをいう。この方式は 1 シンボル当たり 4 ビットの情報を伝送できる。サブキャリアを用いた 16QAM は、デジタル MCA で実用化されている。
U	UWB (Ultra Wide Band)	当初は軍用として開発、2002 年 2 月にアメリカ連邦通信委員会（FCC）が近距離用に限定して民間利用を許可した無線通信技術。通常の無線通信と異なり、UWB では大量の短いパルスを 1GHz 程度の幅に拡散させて、0.1 ピコ秒程度のサイクルで断続的に送信する。送信出力が低いため、他の通信機器からはノイズにしか見えないが、使用する帯域が 3.1GHz～10.6GHz と広いために高速伝送が可能。4.5m 程度の短距離で 400～500Mbps のデータ通信が可能。アメリカに続いて、日本でも 2006 年に解禁となつたが、利用可能な周波数帯は先に示した範囲の全域ではなく、3.4～4.8GHz と 7.25～10.25GHz のみ。利用可能な距離は最大 10m 程度となっている。

【引用文献】

株式会社クリエート・クルーズ (2000) . 電波辞典 [第三版]
 秀和システム編集部編 (2007) . 通信ネットワーク用語辞典 改訂第 5 版

5 GHz 帯無線アクセスシステムの長距離海上電波伝搬特性
及び集中豪雨減衰に関する調査検討会

発 行 総務省 九州総合通信局

URL: <http://www.soumu.go.jp/soutsu/kyushu/>

連絡先 総務省 九州総合通信局
〒860-8795 熊本市二の丸 1－4

TEL: 096-326-7893 FAX: 096-352-0573

E-mail: kikaku-q@soumu.go.jp

本報告書の取りまとめ結果は、本調査検討会及び九州総合通信局の属するもので
あり、本書の一部又は全部を無断でコピー、転載することを禁じます。
本報告書の内容、その他のお問い合わせは、九州総合通信局企画調整課へお願ひし
ます。