

累積効果による電界強度の検討 ＜電波天文帯域について＞

＜資料内容＞

概要

I. Sky-waveによる累積電界強度の検討

II. 地上波による累積電界強度の検討

III. 検討結果まとめ

参考資料

2005年9月26日

高速電力線通信推進協議会

国立天文台殿提出の研究会資料8-12にてSky-wave(電離層伝搬)による電界強度の計算例(参考-2参照)が示されたが、本資料では、同じ伝搬解析ソフトウェアを用いて、電波天文帯域に対するSky-waveによる累積効果の影響を検討した。使用したソフトウェア(参考-1参照)は、ITU-R勧告P. 533「HF propagation prediction method」の伝搬モデルに基づくものである。

また、地上波による累積効果についても同じ検討条件の基で、研究会資料3-8の検討結果の見直し検討を実施した。

Sky-waveによる累積効果の検討では、国内を9地域に分割して各地域の想定放射電力値を設定し、各地域の想定放射点からの干渉電界強度分布を計算・合成して国内約1,500万システム(平均普及率30%)からの干渉電界強度分布を、13MHz帯/25MHz帯について求めた。

今回の検討で複雑なSky-wave伝搬を十分に評価したと云い難いが、電波天文業務に対する累積効果において、Sky-wave伝搬による影響は、地上波伝搬による影響に比べて十分に低く、支配的な要素とはならないと考える。

また、地上波伝搬による累積効果の影響は、受信点数km内のPLC設備設置数が重要な要素であり、近傍での設置数があまり多くないであろうと想定される電波天文施設では、その影響の軽減が期待できると考える。

I-1 検討手順・条件・設定パラメータ

I. 1. 1 検討手順・条件

1) PLC1システムからの放射電力値の設定

PLCモデムの送信電力を -60dBm/Hz (RMS値)、LCLを 30dB と想定して電力線に注入されるコモンモード電力を求め、放射源から十分に遠方の電界強度計算を前提としているので、点源からの放射として、電波天文帯域におけるPLC1システムからの放射電力 P_{plc} を以下の通り設定した。

13MHz帯(中心周波数: 13.385MHz): -73.0 [dBw] (RMS値、帯域幅50kHz)

25MHz帯(中心周波数: 25.610MHz): -69.2 [dBw] (RMS値、帯域幅120kHz)

2) 累積による放射電力値の想定

次頁に示すように、日本国内を9地域に分割し、各地域の全てのPLC設備が想定放射点に存在すると仮定して、次式により各地域の想定放射電力値を設定した。

想定放射電力 = (1システムの放射電力) + $10 \times \log(\text{PLCシステム数})$ - (低減効果: 0dB)

PLCシステム数 = (地域世帯数) × (地域のPLC普及率)

世帯数: H16年3月末現在(総務省自治行政局報道資料)

普及率: 研究会資料3-8に従い、**全国平均を30%と想定**し、都道府県別ブロードバンドサービス

世帯普及率(H17年3月末現在、総務省報道資料)から各地域の普及率を推定

低減効果: 0dB(「低減効果なし」として検討)

3) 累積効果による干渉電界強度分布の計算

各地域の想定放射点からの干渉電界強度分布を計算した後、これら(9データ)を電力和にて合成し、国内約1,500万システムからの干渉電界強度分布(**Median値**)を、13MHz帯及び25MHz帯について求めた。

I - 1 検討手順・条件・設定パラメータ

(地域別の想定放射点と放射電力)

	地域	想定放射点	世帯数 (万軒)	PLC 普及率	PLCシステム数 (万システム)	想定放射電力 (dBw)
1	北海道 (北海道)	札幌 (43.06N、141.33E)	252	20%	50.4	13M帯: -16.0 25M帯: -12.2
2	東北 (青森、岩手、宮城、秋田、 山形、福島)	仙台 (38.26N、140.90E)	341	25%	85.3	13M帯: -13.7 25M帯: -9.9
3	関東 (東京、神奈川、埼玉、千葉、 茨城、栃木、群馬、山梨)	東京 (35.67N、139.77E)	1,717	35%	600.9	13M帯: -5.2 25M帯: -1.4
4	信越・北陸 (新潟、長野、富山、石川、 福井)	金沢 (36.59N、136.63E)	263	25%	65.8	13M帯: -14.8 25M帯: -11.0
5	東海 (愛知、岐阜、静岡、三重)	名古屋 (35.17N、136.97E)	536	35%	187.5	13M帯: -10.3 25M帯: -6.5
6	近畿 (大阪、兵庫、京都、滋賀、 奈良、和歌山)	大阪 (34.68N、135.52E)	829	30%	248.7	13M帯: -9.0 25M帯: -5.2
7	中国・四国 (鳥取、島根、岡山、広島、 山口、徳島、香川、愛媛、高知)	広島 (34.40N、132.46E)	464	25%	116.0	13M帯: -12.4 25M帯: -8.6
8	九州 (福岡、佐賀、長崎、熊本、 大分、宮崎、鹿児島)	福岡 (33.58N、130.38E)	531	25%	132.9	13M帯: -11.8 25M帯: -8.0
9	沖縄 (沖縄)	那覇 (26.21N、127.69E)	50	20%	10.0	13M帯: -23.0 25M帯: -19.2

注1) 世帯数はH16年3月末現在(総務省自治行政局報道資料による)

2) PLCシステム数=(世帯数)×(PLC普及率)、PLC普及率は、全国平均を30%と想定し、都道府県別ブロードバンドサービス普及率(H17年3月末現在、総務省報道資料)から各地域の普及率を推定

3) 想定放射電力=(1システムの放射電力)+10×log(PLCシステム数)

I. 1. 2 ソフト計算における設定パラメータ

1) 放射(送信)電力

計算ソフトの設定下限値 (0dBw) を考慮して、入力パラメータを「**想定放射電力値+28dB**」に設定し、計算後に「-28dB」の補正を行う。なお、PLC1システムの計算では補正値を80dBとした。

2) 送信アンテナ

アンテナ種別: I. 1. 1項の放射電力設定方法から**等方性アンテナ**とした。
放射角度 (Minimum Takeoff Angle): 計算ソフトの設定下限値 (3 degrees) とした。
主ビーム方位角: 等方性アンテナにつき設定不要。

3) 月、時刻

電離層の諸特性は月、時刻によって変動し、時刻では昼間の方が条件が良いと云われている。この特性変動に伴って電界強度・分布は変化し(参考-3参照)、参考-4の計算データ例に示すように、6)項に示すプロット範囲内における最大電界強度値は、設定する月及び時刻によって変化する。ここでは、計算データ例を基に最大電界強度が高い範囲にある「**月:4月、時刻:06UT**」をパラメータ値として採用した。
(UT: Universal Time、**日本時間=UT+9H**)

4) SSN (Sun Spot Number)

参考-5にSSNを変えて6)項のプロット範囲内における最大電界強度値を計算したデータ例を示す。ここでは研究会資料8-12の図2(参考-2参照)も参考にして比較的太陽活動が活発なSSN=100とした。

5) 受信アンテナ / 受信機帯域幅

電界強度 (DBU) 計算につき無関係なパラメータ。

6) プロット範囲

計算結果のプロット範囲は、日本近傍とし、東京 (35.67N、139.77E) を基点に東700km、西1,300km、北1,200km、南1,000kmとした。

I-2 PLC1システムによる干渉電界強度分布計算例(1/2)

(Sky-wave: 13MHz帯、放射点: 東京)

TOKYO, Japan [ISOTROPE] 5W -1deg*06ut 13.385MHz APR 100ssn

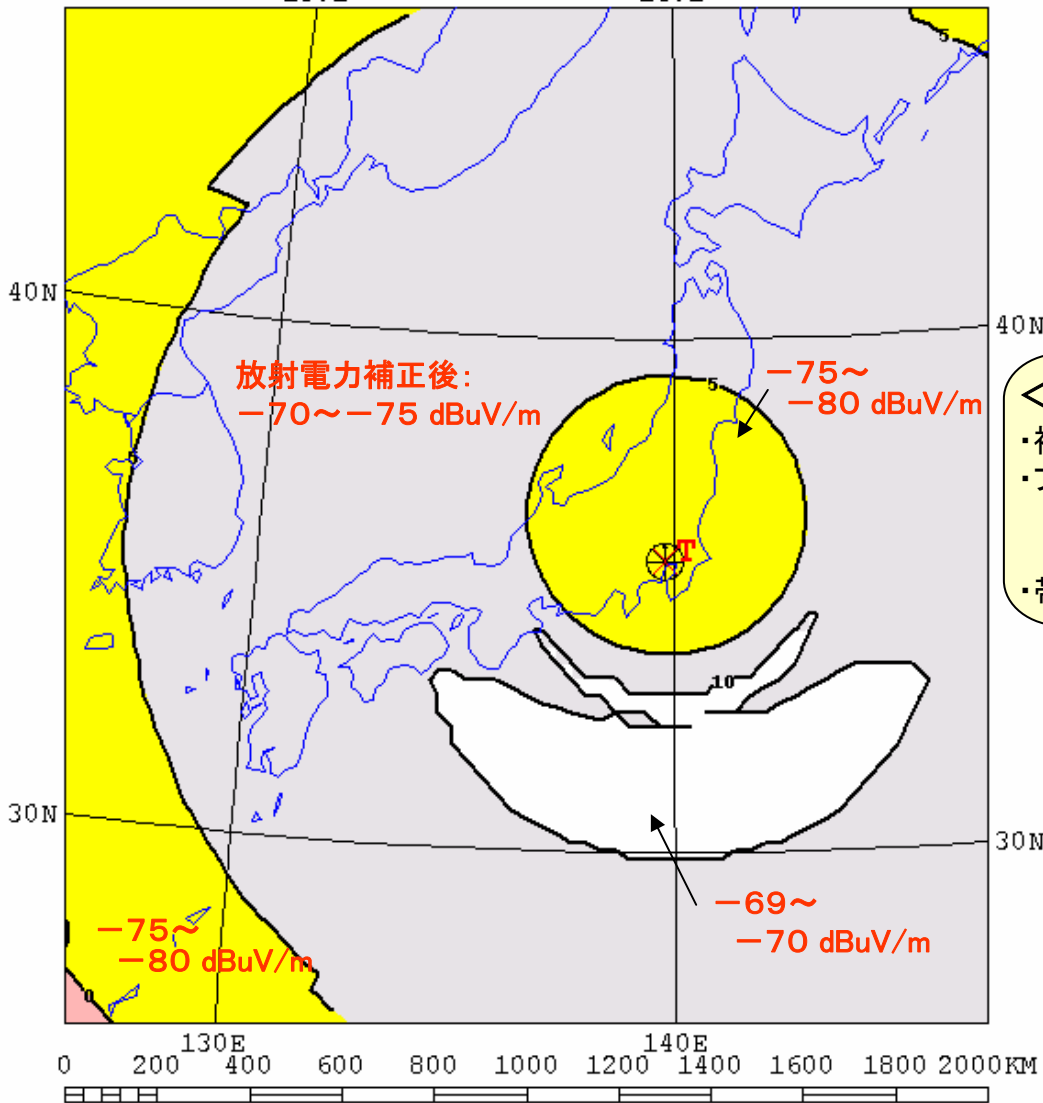
Tx location to grid of Rx
130E

計算時放射電力

AREADATA\default\plc13mtst.R11

Version 05.0119W

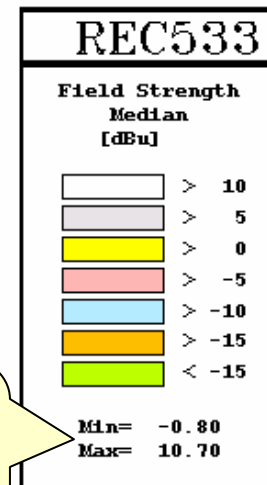
DBU



*この角度表示は、真北に対する放射主ビームの方位角を示し、-1degとは無指向性を示す。

<放射電力補正後>

- ・補正值: -80dB
- ・プロット範囲における
Min=-81dB μ V/m
Max=-69dB μ V/m
- ・帯域幅: 50kHz



放射電力補正前

Sky-waveによる干渉電界強度は、放射点から離れた箇所で最大値を示し、その箇所は月、時刻、周波数等が変わるが、PLC1システムからの干渉波の絶対強度は十分低い値である。

また、最大点から、さらに離れるに従い電界強度は低下する。(参考-6参照)

I-2 PLC1システムによる干渉電界強度分布計算例(2/2)

(Sky-wave: 13MHz帯、放射点: 那覇)

NAHA, Japan [ISOTROPE] 5W -1deg 06ut 13.385MHZ APR 100ssn

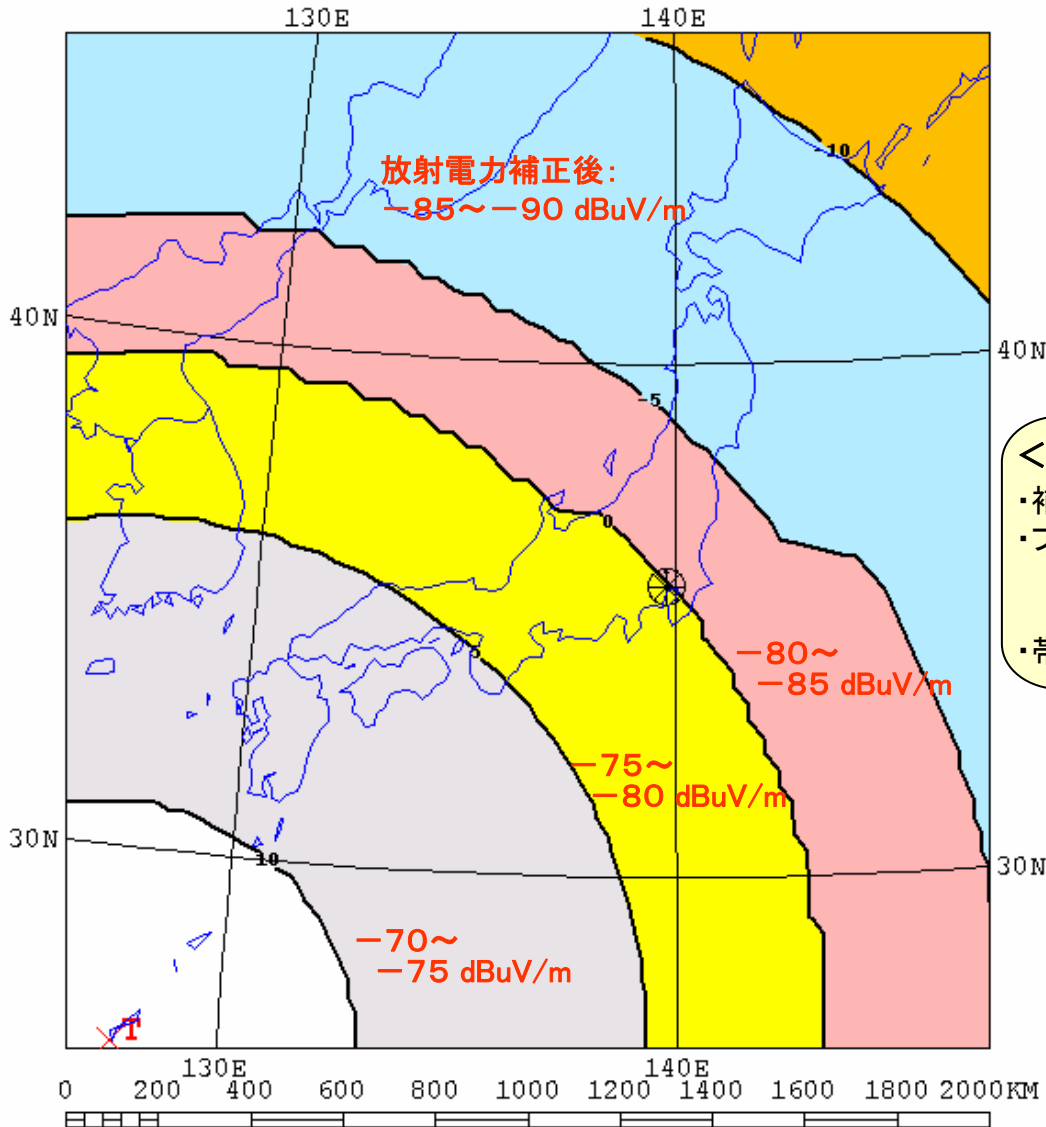
Tx location to grid of Rx

計算時放射電力

AREADATA\default\plc13mtst.R11

DBU

Version 05.0119W



放射電力補正後:
-85~-90 dBuV/m

-80~-85 dBuV/m

-75~-80 dBuV/m

-70~-75 dBuV/m

REC533

Field Strength Median [dBu]

White	> 10
Light Gray	> 5
Yellow	> 0
Pink	> -5
Light Blue	> -10
Orange	> -15
Green	< -15

Min= -12.90
Max= 11.30

放射電力補正前

<放射電力補正後>

- 補正值: -80dB
- プロット範囲における
Min=-93dB μ V/m
Max=-69dB μ V/m
- 帯域幅: 50kHz

CCIR coefficients
63x 63 gridsize

I-3 累積効果による干渉電界強度分布(1/2)

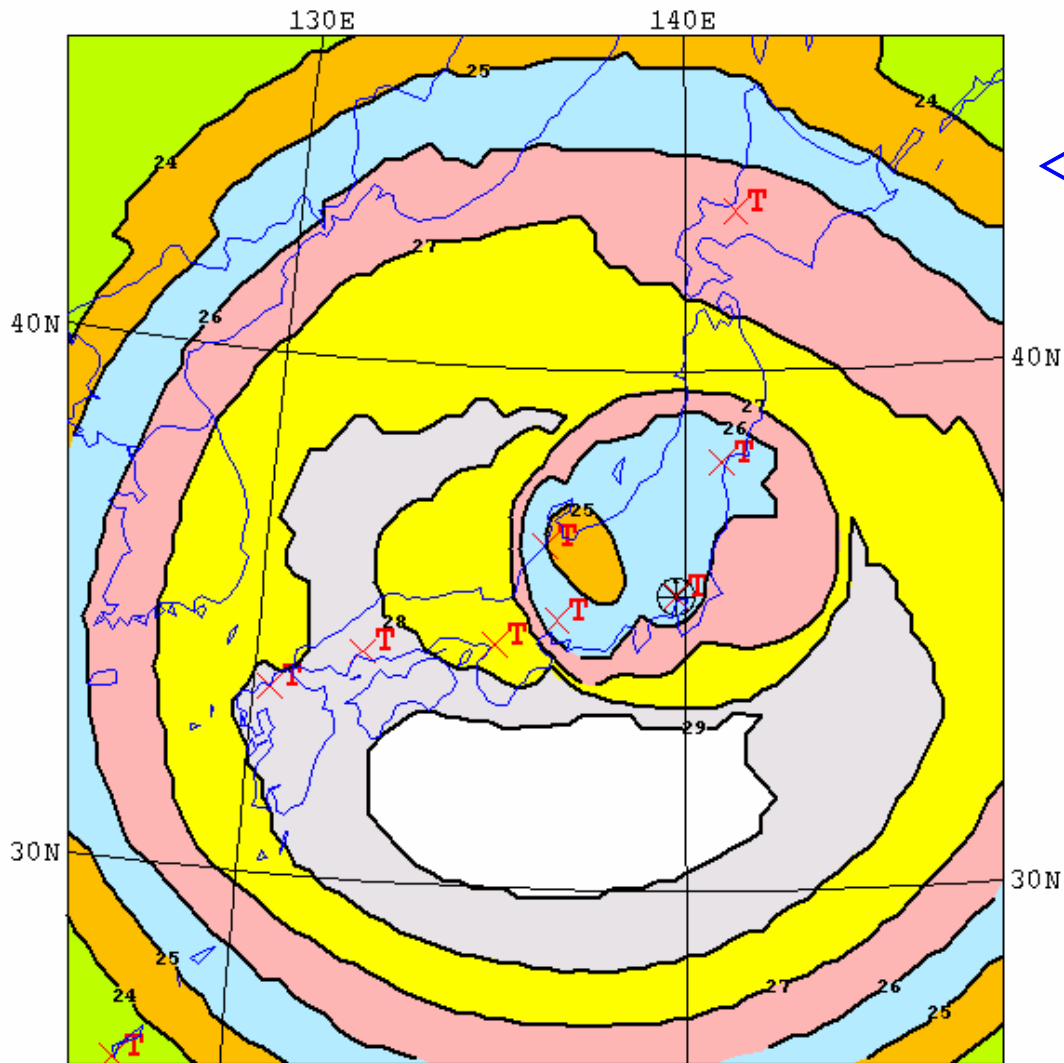
(Sky-wave: 13MHz帯、帯域幅: 50kHz)

Cumulative Effect 13.385MHz (21)

Tx location to grid of Rx

DBU
AREADATA\DEFAULT\CUM13M21.R11

Version 05.0119W



<放射電力補正後>

1dBuV/m以上

1 ~ 0

0 ~ -1

-1 ~ -2

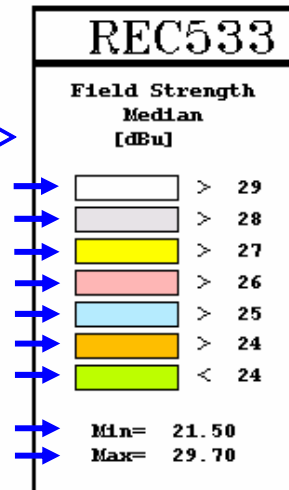
-2 ~ -3

-3 ~ -4

-4 以下

Min: -6

Max: 2



CCIR coefficients
63x 63 gridsize

<HF帯電波天文施設付近>

- ・蔵王: -2 ~ -3dBuV/m
- ・平磯: -1 ~ -3dBuV/m
- ・西はりま: 0 ~ -1dBuV/m
- ・高知: 1 ~ 0dBuV/m

注) 帯域幅: 50kHz

I-3 累積効果による干渉電界強度分布(2/2)

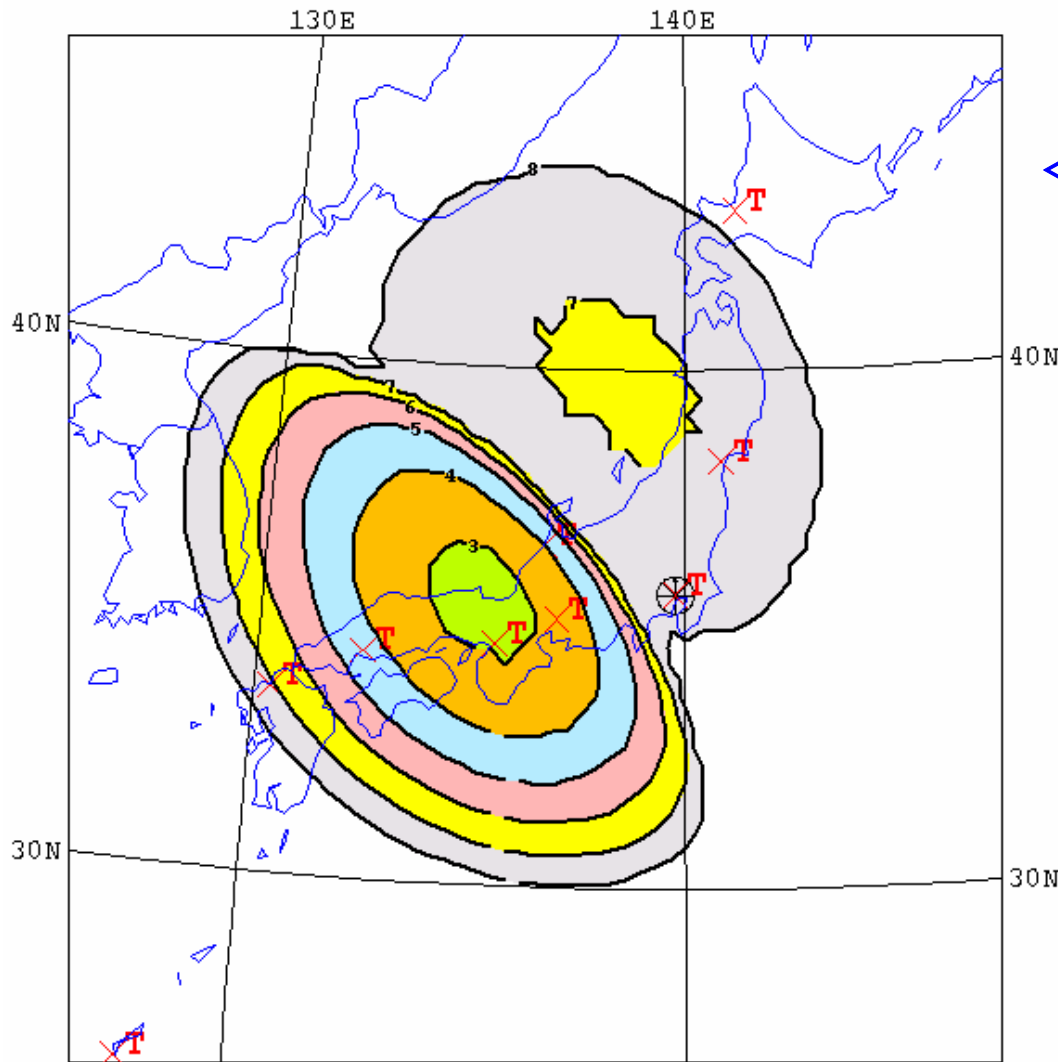
(Sky-wave: 25MHz帯、帯域幅: 120kHz)

Cumulative Effect 25.610MHz (21)

Tx location to grid of Rx

DBU
AREADATA\DEFAULT\CUM25M21.R11

Version 05.0119W



<放射電力補正後>

Field Strength Median [dBu]	Color	Value
> 8	White	> 8
> 7	Light Gray	> 7
> 6	Yellow	> 6
> 5	Pink	> 5
> 4	Light Blue	> 4
> 3	Orange	> 3
< 3	Light Green	< 3
Min= 2.80		Min: -25
Max= 25.30		Max: -2

CCIR coefficients
63x 63 gridsize

<HF帯電波天文施設付近>

- ・蔵王: -20~-21dBuV/m
- ・平磯: -20~-21dBuV/m
- ・西はりま: -24~-25dBuV/m
- ・高知: -23~-24dBuV/m

注) 帯域幅: 120kHz

0 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000KM

Ⅱ－1 検討モデル・計算式

1) 検討モデル

検討モデル: 右図の中心位置にある電波天文施設受信点から半径R[m]の
累積効果対象エリア内にPLC設備が一様分布すると想定

1システムのPLC設備からの放射電力:Pplc[W] (I. 1. 1項による)

受信点からの距離:r[m]

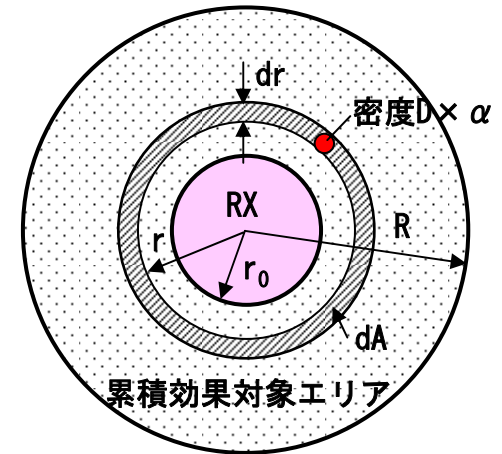
距離r[m]点での干渉電界強度: $E(r)$ [uV/m] = $5.48 \times 10^6 \cdot A \cdot P_{plc}^{1/2} / r^{1.3}$

(ITU-R勧告PN.525-2の(1)式において距離減衰係数を1.3乗(26dB/dec)と

したもの。Aは低減効果でA=1<効果なし>とした)

PLC設備の密度: $D \times \alpha$ [システム/m²] (D:世帯数密度、 α :PLC普及率)

電波天文施設から最近傍のPLC設備までの離隔距離: r_0 [m]



r_0 : 離隔距離

2) 計算式

受信機から周囲半径rでの微小面積: $dA = 2\pi r \cdot dr$ [m²]

dAの範囲からの干渉電界の受信点での電界強度dE(r):

$$dE(r) = \{E(r)^2 \times D \cdot \alpha \times dA\}^{1/2} = (5.48 \times 10^6 \times A) \times (2\pi \cdot P_{plc} \times D \cdot \alpha \times r^{-1.6} \cdot dr)^{1/2}$$

受信点から離隔距離 r_0 ~ 距離Rの範囲内にあるPLC設備による受信点での累積電界強度:

$$e_{cum} = \left\{ \int_{r_0}^R dE(r)^2 \right\}^{1/2} = (5.48 \times 10^6 \times A) \times (2\pi \cdot P_{plc} \times D \cdot \alpha \times \int_{r_0}^R r^{-1.6} \cdot dr)^{1/2}$$

$$= (5.48 \times 10^6 \times A) \times \{ 2\pi \cdot P_{plc} \times D \cdot \alpha \times (r_0^{-0.6} - R^{-0.6}) / 0.6 \}^{1/2} \text{ [uV/m]}$$

$$E_{cum} = 20 \times \log(e_{cum}) \text{ [dBuV/m]}$$

Ⅱ-2 検討条件・設定パラメータ

1) 放射電力

PLC1システムからの放射電力 P_{plc} は、I. 1. 1項で設定した通りとする。

2) 世帯数密度及びPLC世帯普及率

研究会資料7-8に示された主なHF帯電波天文観測局4ヶ所が所在する県の世帯数密度を、想定したPLC世帯普及率と共に下表に示す。

観測局	所在県	世帯数密度 (軒/m ²)	想定PLC普及率 (%)
蔵王	宮城県	1.25×10^{-4}	30
平磯	茨城県	1.71×10^{-4}	25
西はりま	兵庫県	2.61×10^{-4}	30
高知	高知県	4.81×10^{-5}	20

注1) 世帯数はH16年3月末現在(総務省自治行政局報道資料による)

2) PLC世帯普及率は、全国平均を30%と想定し、都道府県別ブロードバンドサービス普及率(H17年3月末現在、総務省報道資料)から推定

3) 離隔距離

離隔距離 r_0 は、電波天文設備の設置場所・環境を考慮し、実質的に十分確保できると考えられる100mに設定した。

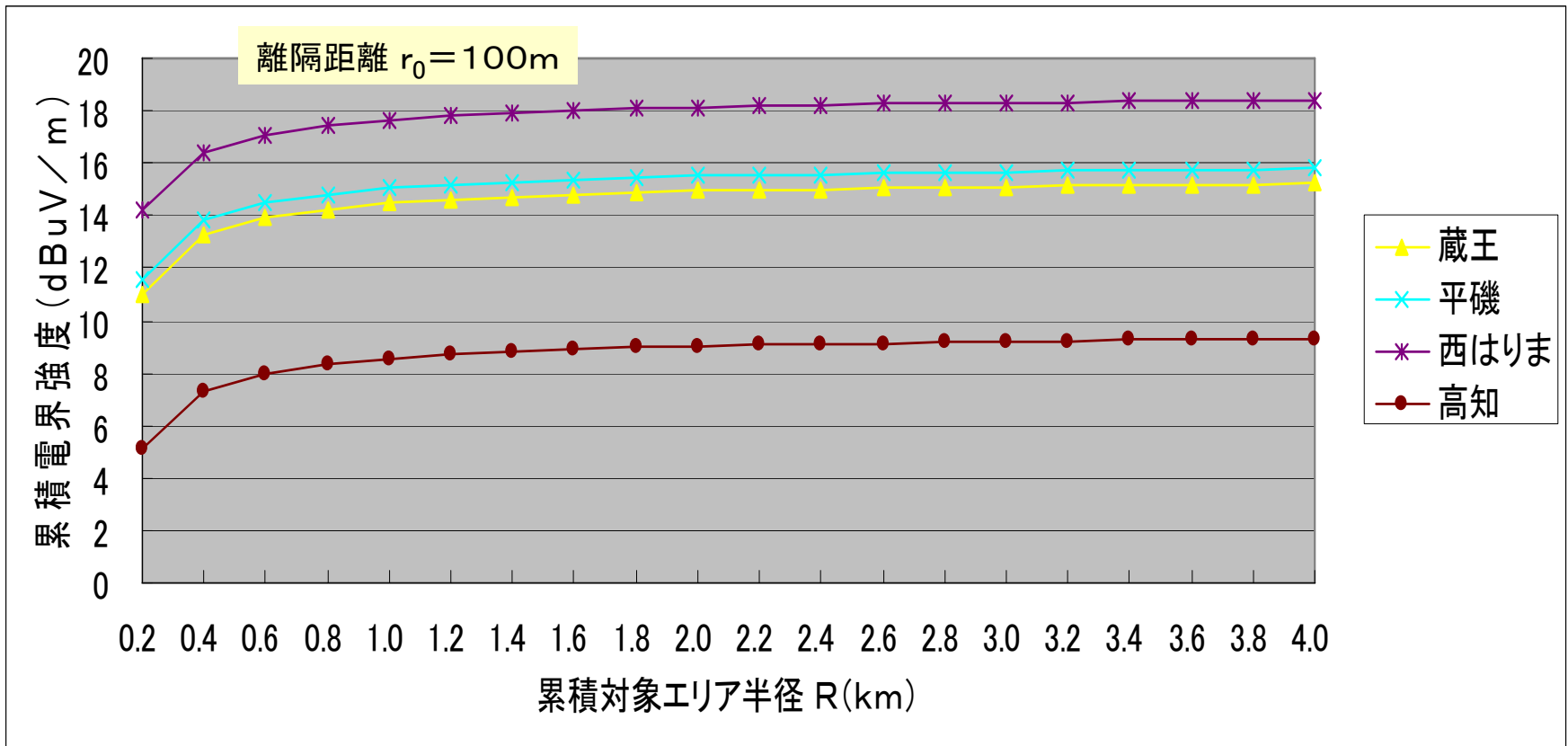
4) 距離減衰特性

地上波伝搬の距離減衰特性は、これまでの研究会での審議を基に26dB/decとした。

Ⅱ-3 累積効果による干渉電界強度(1/2)

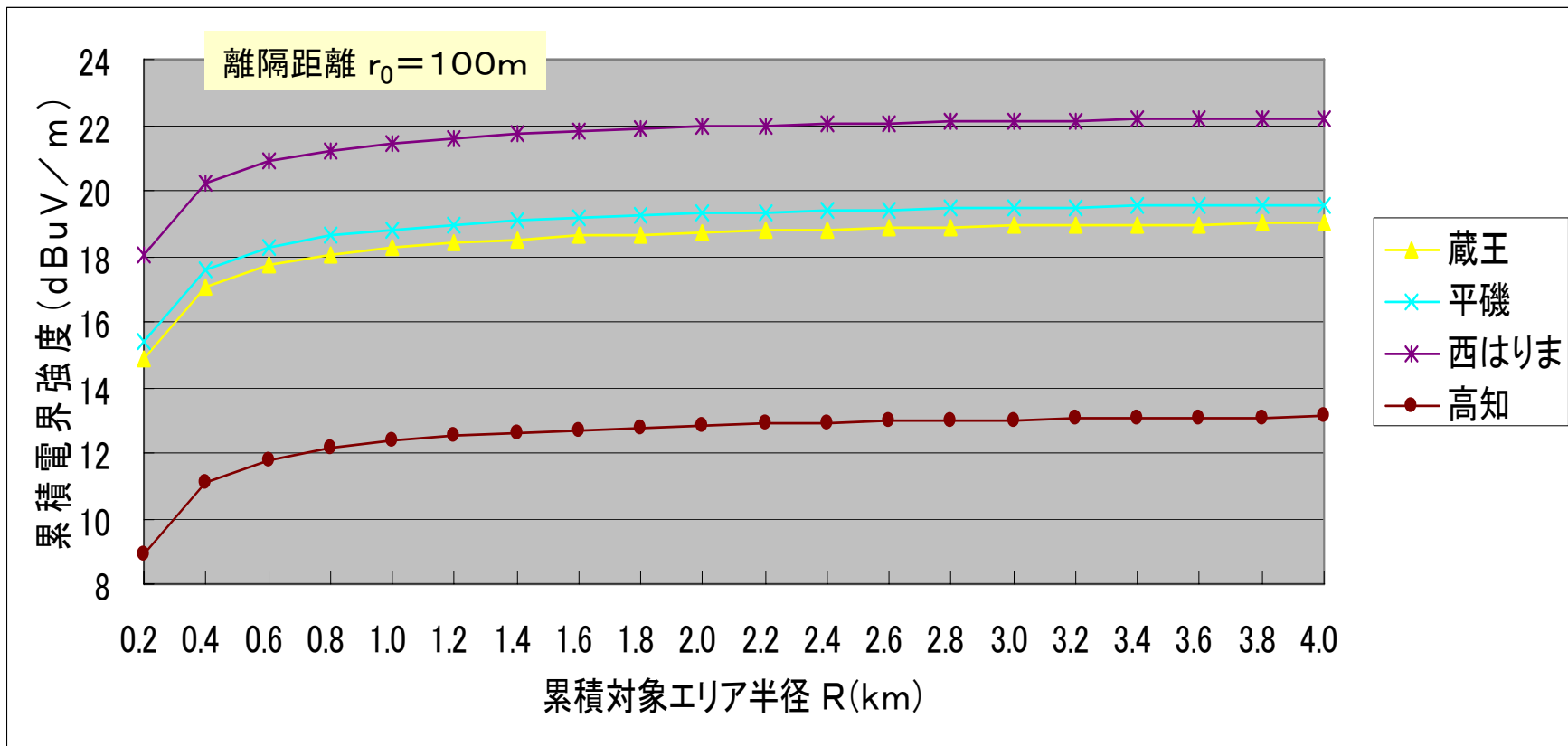
12

(地上波: 13MHz帯、帯域幅: 50kHz)



地上波による累積電界強度は、累積対象エリア半径数kmで飽和傾向を示し、数km以遠に存在するPLC設備からの累積効果への寄与は急速に減少する。従って、対象とする受信施設近傍におけるPLC設備設置状況が累積電界強度を決める支配的な要素であると考えられる。

Ⅱ-3 累積効果による干渉電界強度分布(2/2) (地上波:25MHz帯、帯域幅:120kHz)



<Sky-wave伝搬について>

- 1) 研究会にてJARL殿、国立天文台殿等から指摘されているように、Sky-wave伝搬(電離層伝搬)では複雑な電界強度分布が生じ、干渉波が広範囲に伝搬し電界強度の最大値が放射点からかなり離れた箇所で発生するが、最大値と云えども、その絶対値は非常に低いレベルであり、例えば、PLC1システムからの放射の計算例では $-69\text{dB } \mu\text{V/m}$ (13MHz帯、帯域幅50kHz、Median値)程度となっている。
- 2) 一方、全国約1,500万システム(平均PLC普及率30%)からの**累積電界強度は、13MHz帯の場合かなりのレベルとなるが、それでも、次々頁に示すように、「Rural」外部雑音レベルよりも十分低い値である。**
- 3) さらに、多数のPLCシステムからの放射が同一の周波数/時間/方向等の全ての条件で一致する確率などを考慮し、研究会資料3-8にて提示した**低減効果12dBを見込むと、累積電界強度は13M/25MHz帯共に「Quiet Rural」外部雑音レベル以下となる。**

<地上波伝搬について>

- 1) 地上波による累積電界強度は、累積対象エリア半径数kmで飽和傾向を示し、**数km以遠に存在するPLC設備からの累積効果への寄与は急速に減少**する。従って、対象とする受信施設近傍におけるPLC設備設置状況が累積電界強度を決める支配的な要素であり、近傍でのPLC設置数があまり多くないであろうと想定される電波天文観測施設では、累積効果による影響は今回の検討結果よりもさらに軽減され则认为る。
- 2) また、多数のPLCシステムからの放射が同一の周波数/時間/方向等の全ての条件で一致する確率などを考慮し、資料3-8で提示した低減効果12dBを見込むと、さらなる累積効果の影響低減が期待できると考える。

<累積効果について>

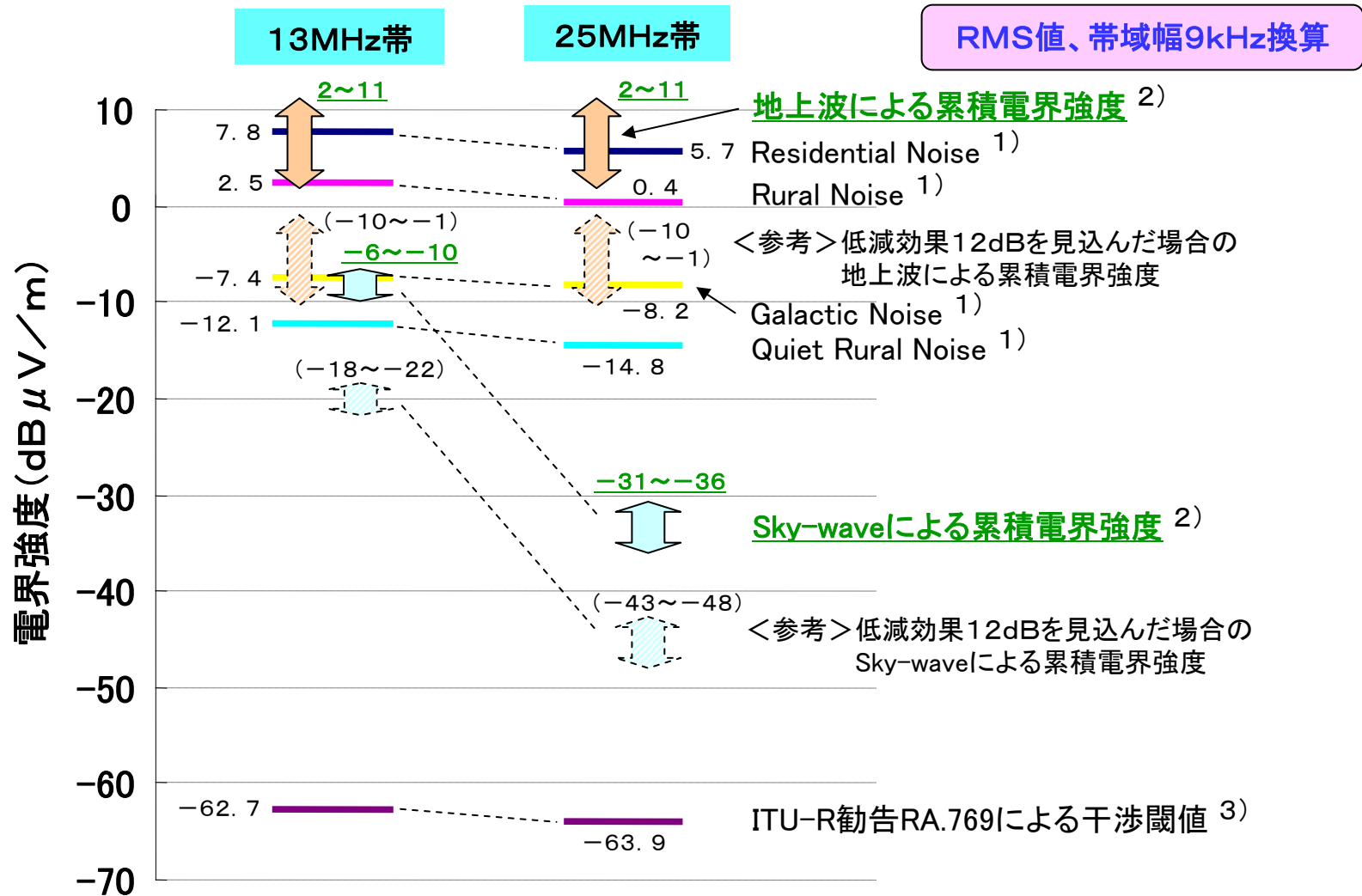
今回の検討で複雑なSky-wave伝搬を十分に評価したと云い難いが、少なくとも、電波天文業務に対する累積効果において、**Sky-wave伝搬による影響は少なく、地上波伝搬による影響が支配的な要素であると云える**と考える。

また、地上波伝搬による累積効果の影響は、受信点数km内のPLC設備設置数が重要な要素であり、研究会資料3-8の検討結果にも示されているように、決して**広範囲のPLC設備からの影響を受けるわけではない**と考える。

次頁に検討結果とITU-R勧告の外部雑音レベル等との関係を参考に示す。

Ⅲ. 検討結果まとめ(3/3)

(電界強度関係図: 電波天文13MHz帯/25MHz帯)



注1) ITU-R勧告P. 372-8 (7)、(11)式による外部雑音レベル。

2) 本資料による累積効果の検討結果で、研究会資料7-8に示された主なHF帯電波天文観測局4ヶ所付近の累積電界強度。

3) 干渉閾値電力を勧告PN. 525-2 (8)式にて電界強度に変換した値。

このソフトウェア(REC533)は、VOA(Voice of America)及び米陸軍・空軍からの資金提供により開発されたHF伝搬解析プログラム群の一部で、Windows上で動作する現状のバージョンは米商務省NTIA/ITSが開発、維持しているものである。

(NTIS/ITS: National Telecommunications and Information Administration/Institute for Telecommunications Sciences)

- 1) REC533は、ITU-R勧告P. 533「HF propagation prediction method」の伝搬モデルに基づくもの。使用バージョンは、Version 05.0119W (19 January 2005)。
- 2) 本計算は、勧告P. 533によれば、電離層伝搬(sky-wave)のみが対象で、計算に盛り込まれている損失は、自由空間伝搬損失(20dB/dec)及び電離層伝搬に伴う損失である。
- 3) REC533には、下記2組のプログラムがあり、今回使用したのは「RECAREA」である。
 - －REC533: point-to-point predictions 用
 - －RECAREA: area coverage predictions 用
- 4) プログラム「RECAREA」の出力パラメータは、MUF(Maximum Usable Frequency)、DBU(Median field strength at receiver)、S/N(Median Signal-to-Noise ratio)等の5種で、今回は「DBU」を使用。また、複数のDBU計算結果をCombineするソフトも含まれており、累積効果計算にはこのソフトを使用した。
- 5) 「DBU」計算では、送信点から放射された単一周波数の信号による電界強度分布を求めており、受信帯域幅は考慮されていない。従って、PLC干渉波による電界強度分布を求めるに当たって、帯域幅の効果を盛り込むには送信レベルを等価的に調整する必要がある。また、入力パラメータ「送信電力」の設定下限値が1W(0dBw)であるので、PLC干渉波の評価では適当な送信(放射)電力値で計算した後に補正する必要がある。

参考-2 研究会資料8-12 の図2に対応する計算結果

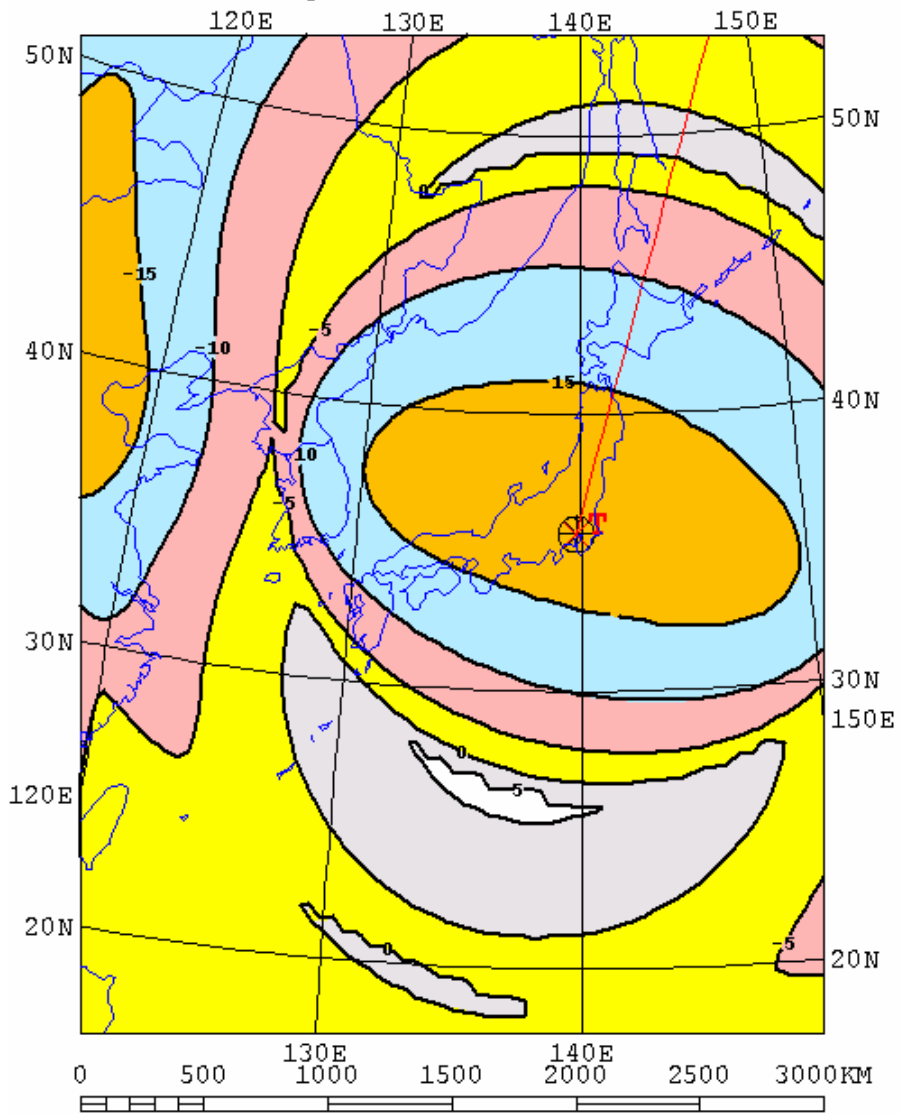
TOKYO, Japan [HD/.5/.25] 1W 15deg 12ut 13.500MHz AUG 100ssn

DBU

Tx location to grid of Rx

AREADATA\default\rastest.R11

Version 05.0119W



REC533

Field Strength Median [dBu]

> 5
> 0
> -5
> -10
> -15
> -20
< -20

Min= -18.10
Max= 5.90

CCIR coefficients
63x 63 gridsize

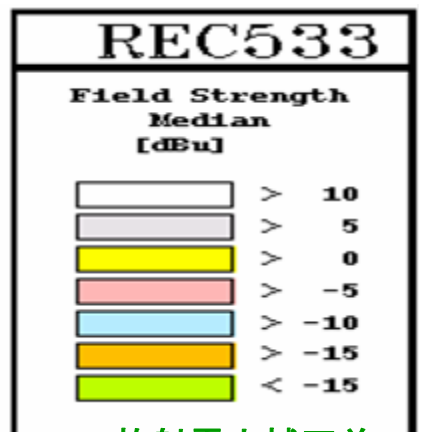
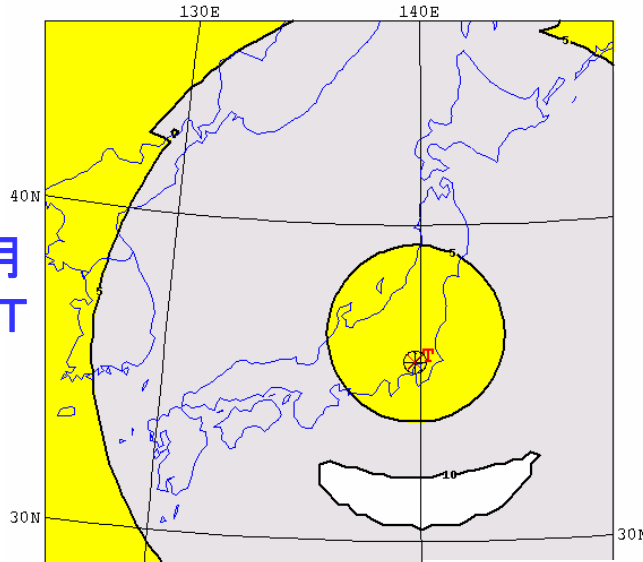
- 主な計算パラメータ**
- Transmitter Location: Tokyo (35.67N、139.77E)
 - Frequency: 13.5MHz
 - Minimum Takeoff Angle: **3 degrees** (設定下限値)
 - Transmit Antenna Parameters:
 - Antenna: ITSA-1 **Horizontal Dipole**
 - Main Beam: 15 degrees (from North)
 - TX Power: 0.001kW (0dBw)
 - Receiver Bandwidth: NA

<注記> 資料8-12では、ビームは上方15度となっているが、実際の計算は3度ようだ。また、参照バンド幅10kHzとあるが、本ソフトウェアの電界強度計算ではバンド幅は考慮されていない。

参考-3 月／時刻による電界強度・分布変動データ例 (PLC1システム、13MHz帯、放射点：東京)

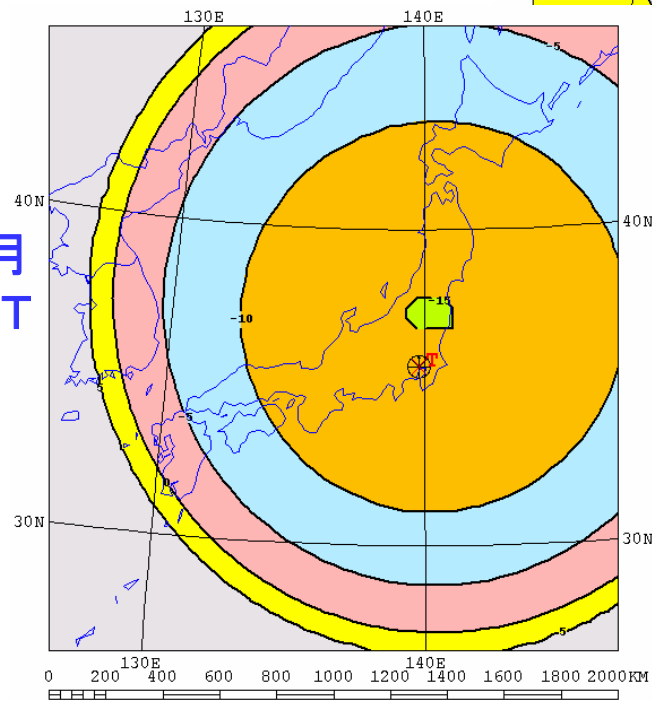
電離層の諸特性は、
季節(月)、時刻等々
によって変化し、電界
強度・分布も大きく
変化する。

4月
06UT

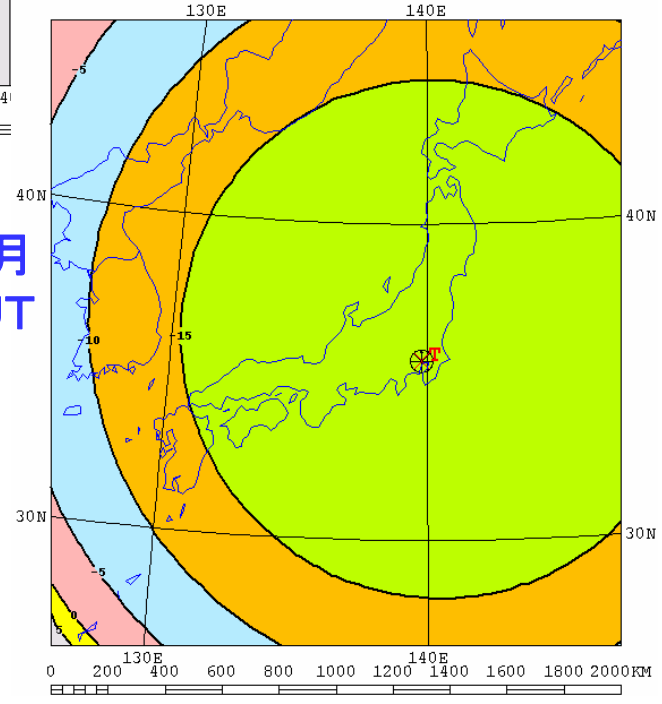


放射電力補正前
(補正值: -80dB)

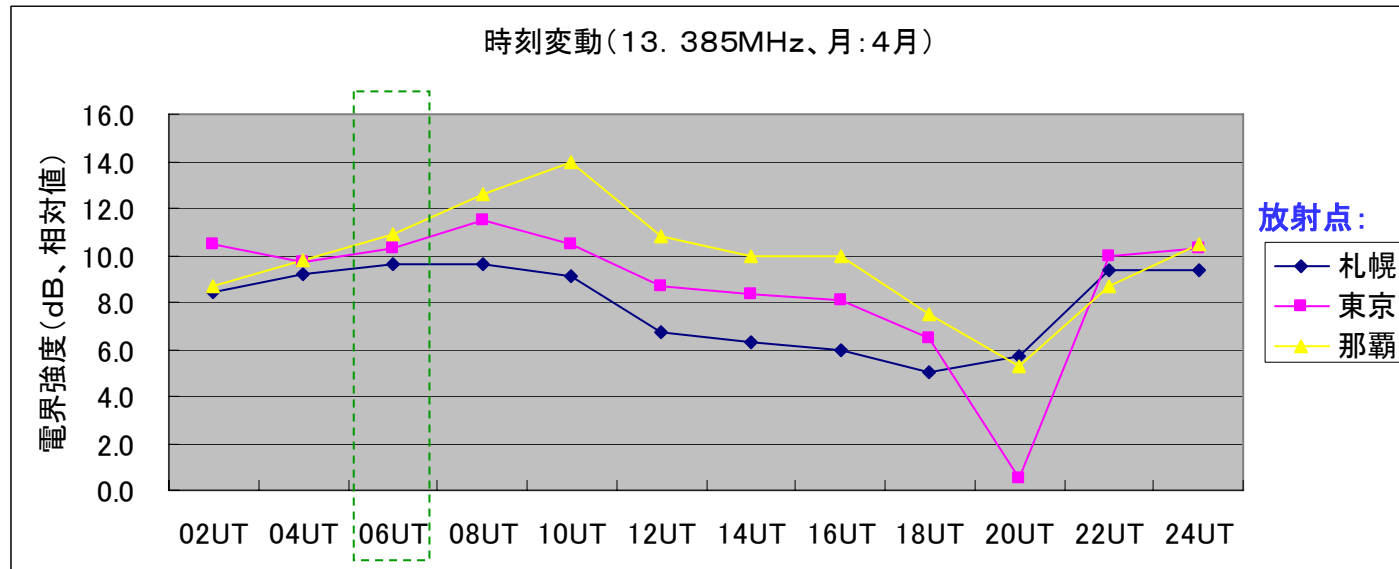
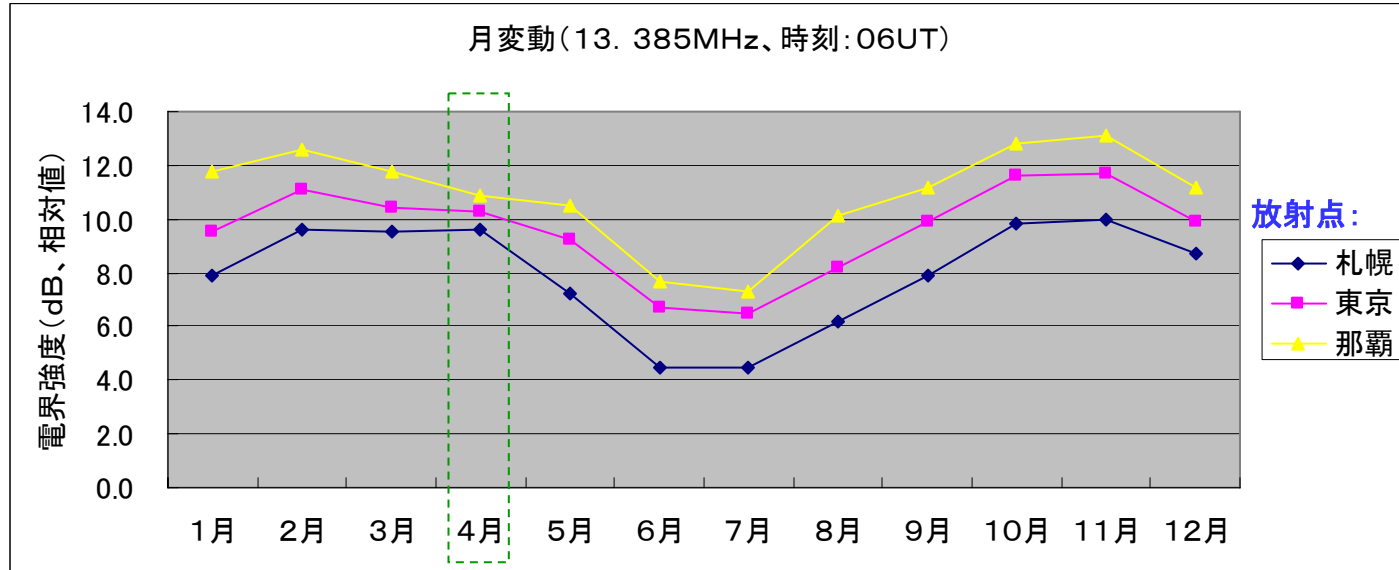
8月
12UT



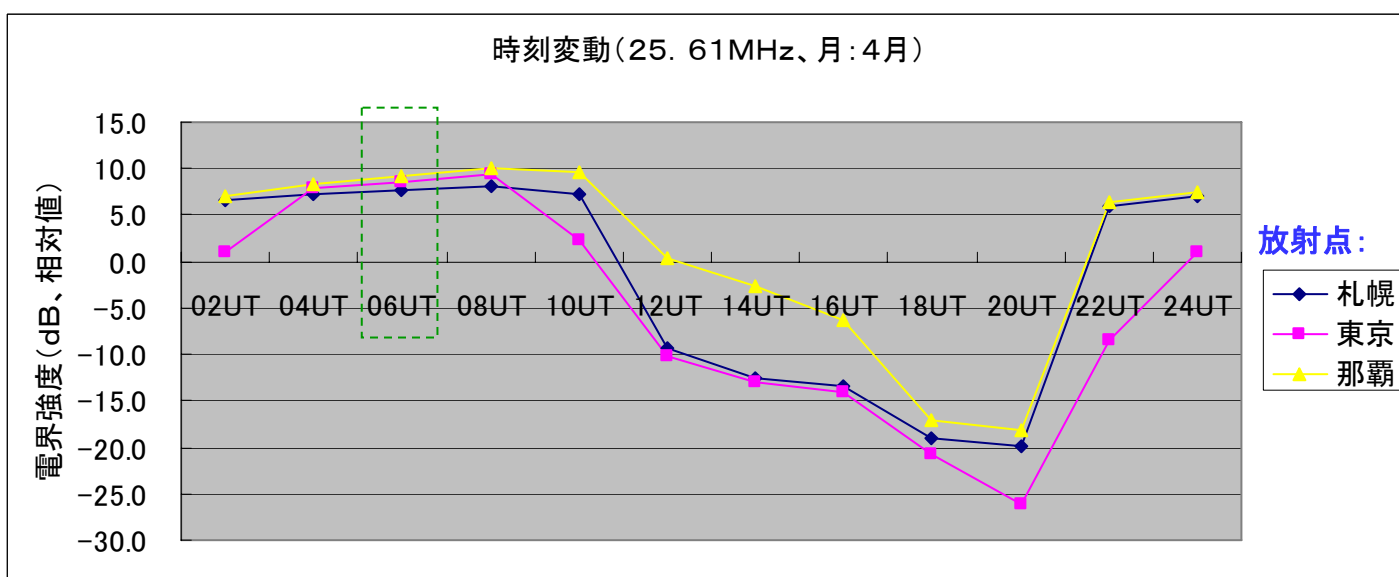
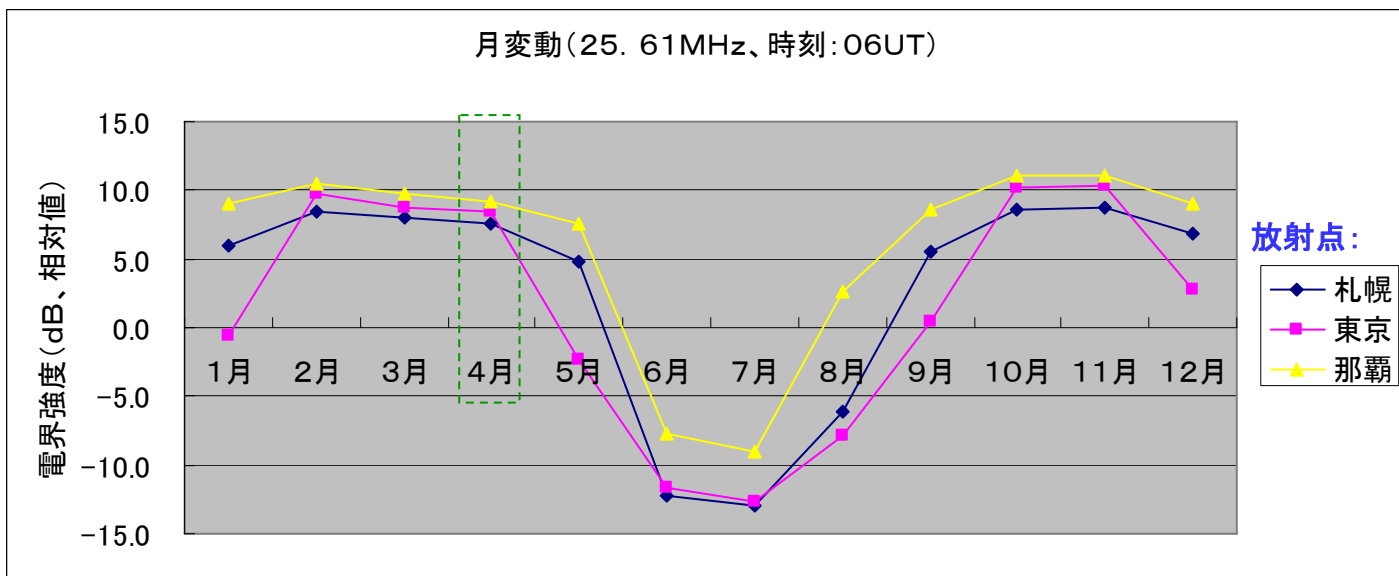
6月
18UT



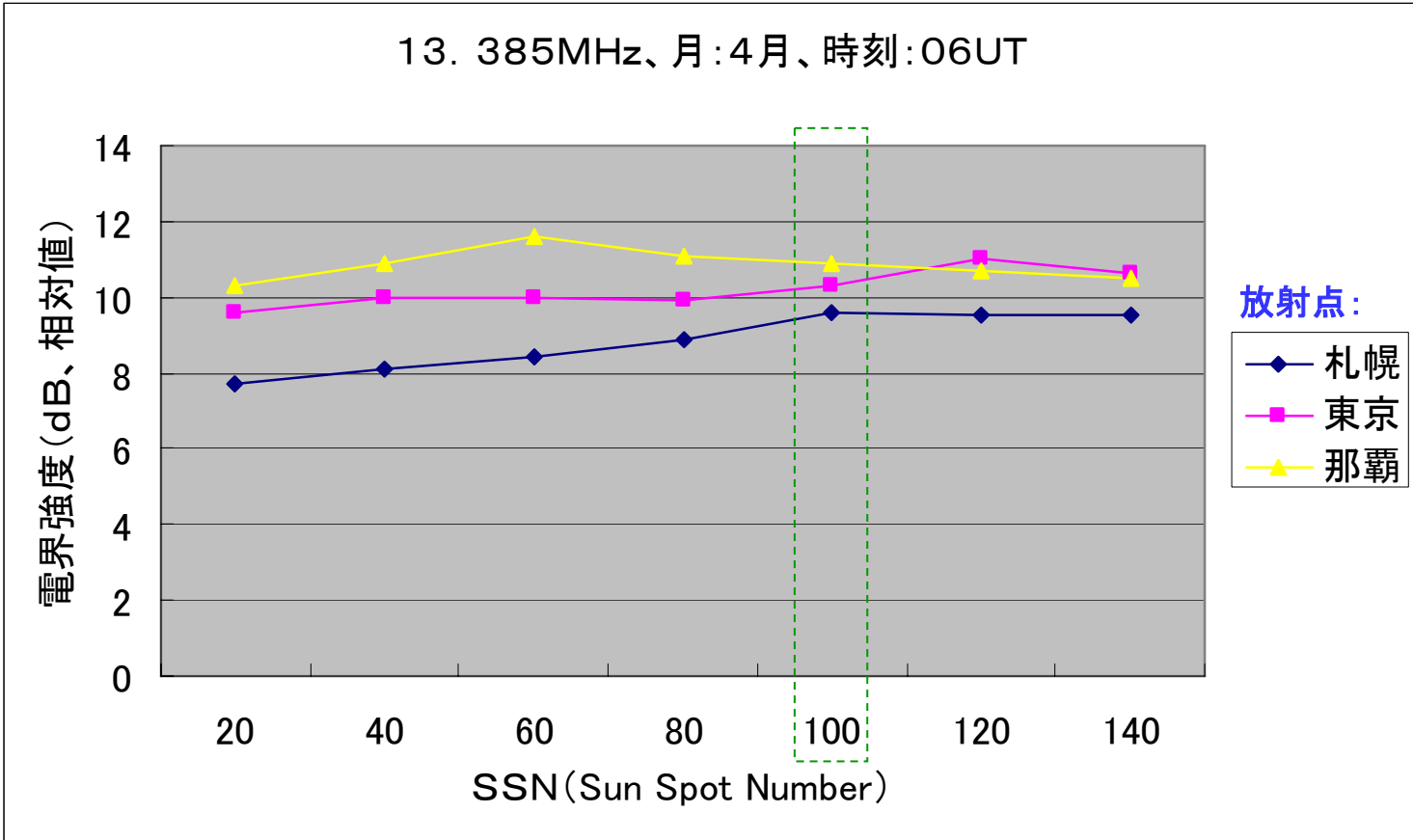
参考-4 月／時刻による電界強度変動データ例(1/2) (13MHz帯、プロット範囲内の最大値)



参考-4 月／時刻による電界強度変動データ例(2/2) (25MHz帯、プロット範囲内の最大値)



参考-5 SSNによる電界強度変動データ例 (13MHz帯、プロット範囲内の最大値)



上図は累積計算に用いたプロット範囲について、その範囲内での最大値を示しており、SSNの変化により電界強度分布が変化するので、範囲外に最大値が移動している可能性もある。

参考-6 PLC1システムによる広範囲の干渉電界強度分布例 (13MHz帯、放射点:東京)

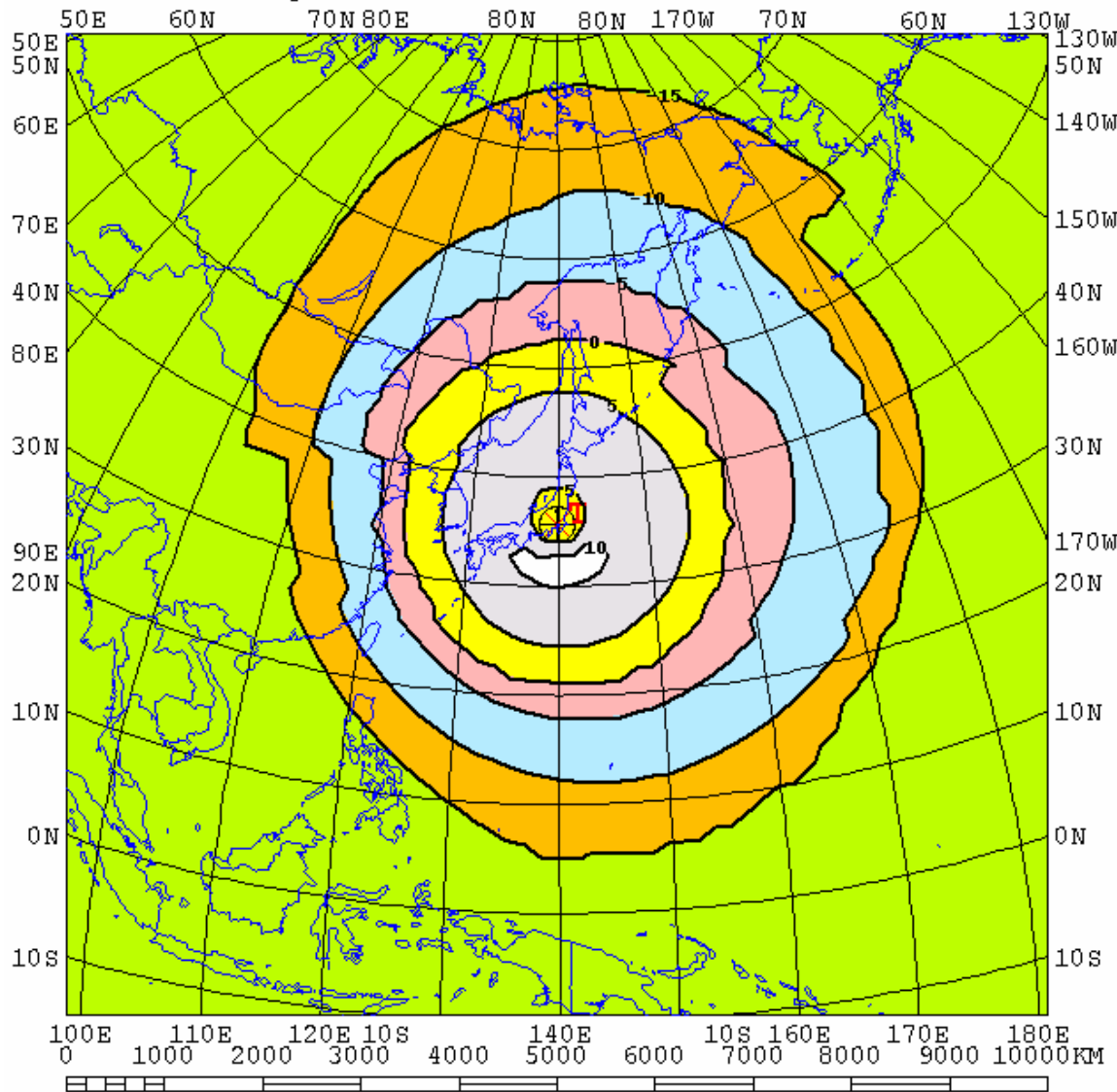
TOKYO, Japan [ISOTROPE] 5W -1deg 06ut 13.385MHz APR 100ssn

DBU

Tx location to grid of Rx

AREADATA\default\plc13mtst.R11

Version 05.0119W



REC533

Field Strength Median [dBu]

White	> 10
Light Gray	> 5
Yellow	> 0
Pink	> -5
Light Blue	> -10
Orange	> -15
Green	< -15

Min= -47.30
Max= 10.70

放射電力補正前

IR coefficients
8x 63 gridsize

<放射電力補正後>

- ・補正值: -80dB
- ・プロット範囲における
Min = -127dB μ V/m
Max = -69dB μ V/m
(I - 2項計算例(1/2)と同じ値)

電界強度の最大点は、放射点から離れた箇所に生じるが、さらに離れると電界強度は低下していく。