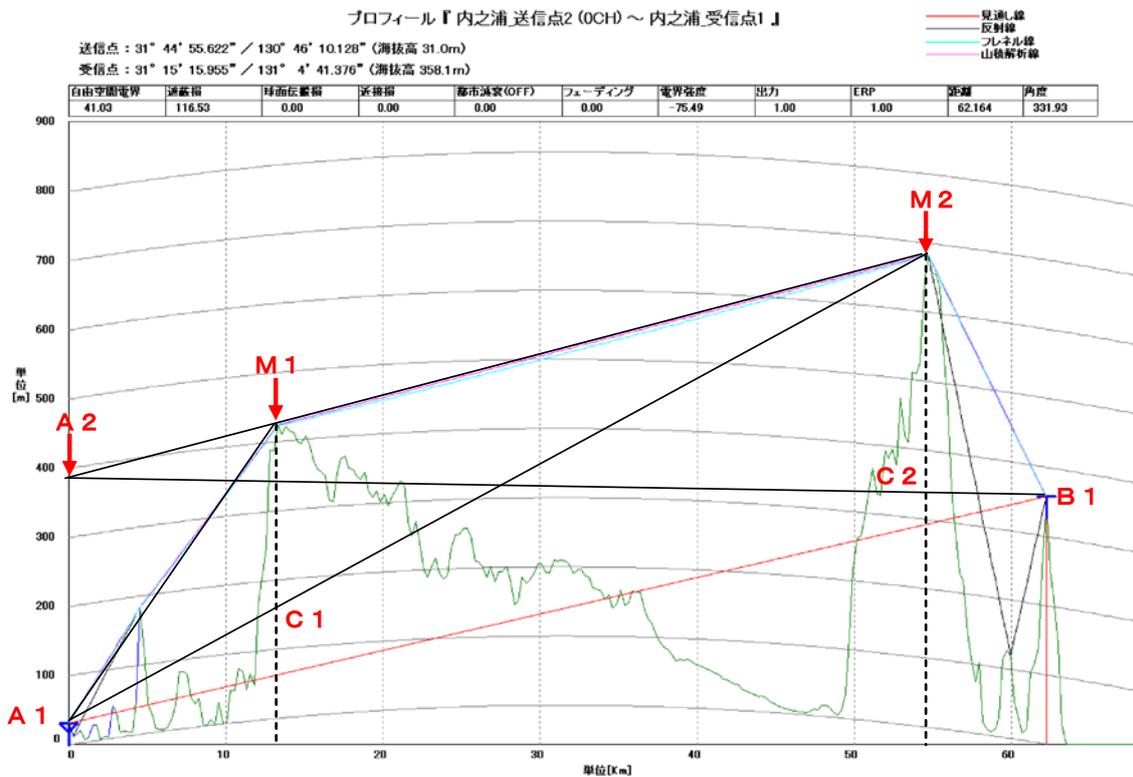


<送信点 2—内之浦 34m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

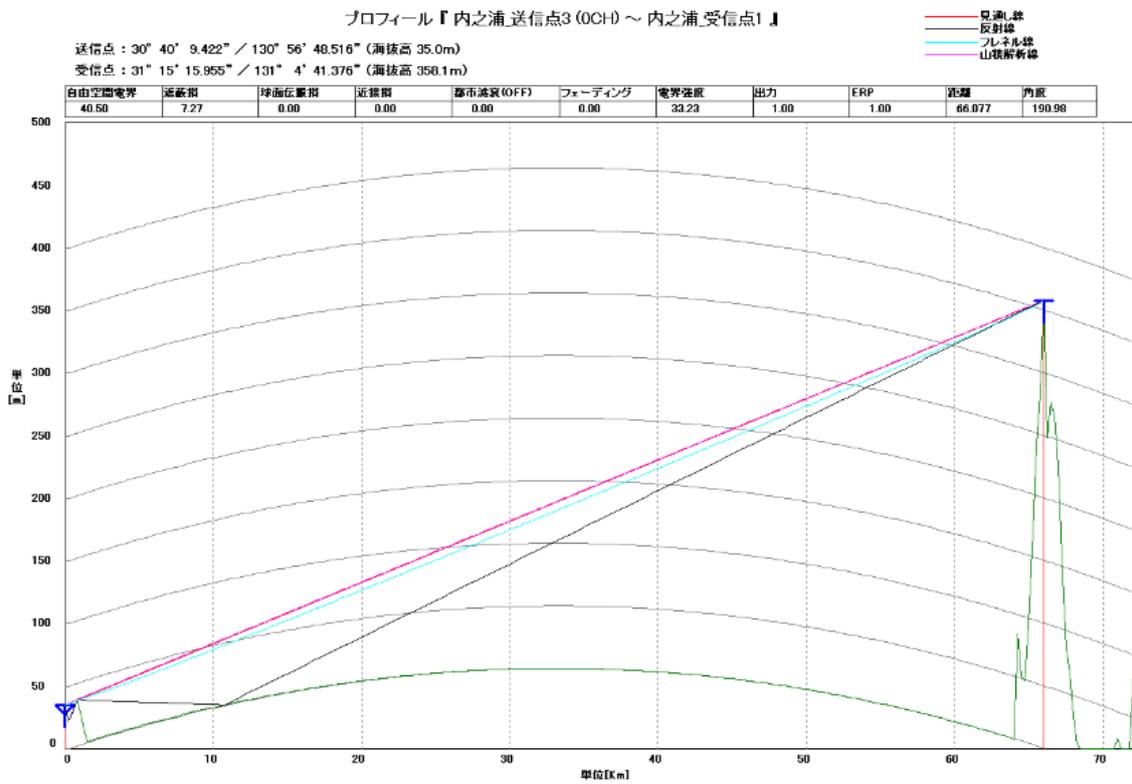
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	62.16	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	55	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	48.66	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	13.5	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	41.5	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	7.16	
A1ポイント標高	h1(m)	31	
M1ポイント標高	hm1(m)	425	
M2ポイント標高	hm2(m)	680	
B1ポイント標高	h2(m)	358.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	157.32	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間) = (hm1-hp1)	CS1(m)	267.68	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	385.76	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	338.10	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間) = (hm2-hp2)	CS2(m)	341.90	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	11.38	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	23.52	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	43.43	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	8.97	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	38.10	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	47.62	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	91.05	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	155.7684602	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	246.82	= Γ0+Zt

<送信点 3—内之浦 34m>



距離 : 66.07km

見通し自由空間損失 : 156.3dB

全国の電波天文観測局の置局状況 及びシミュレーション地点(電波天文台指定)一覧

※世界測地系

						座標(天文台)		座標(追加第1地点)		座標(追加第2地点)	
局名	口径(m)	標高(m)	アンテナ高(m)	アンテナ最高点(m)	東経(度)	北緯(度)	東経(度)	北緯(度)	東経(度)	北緯(度)	
1	VERA水沢	20	63	22	85	141.132544	39.133493	141.62944	39.01500	141.15250	39.70361
2	VERA入来	20	529	22	551	130.439993	31.747976	130.30389	31.81333	130.55778	31.56000
3	VERA小笠原	20	211	22	233	142.216773	27.09168	142.19194	27.09417	142.16083	26.64028
4	VERA石垣島	20	26	22	48	124.171085	24.412453	124.15556	24.34056	125.28111	24.80528
5	野辺山(NRO)	45	1349	47	1396	138.472517	35.944503	138.49194	36.02083	138.56833	35.66389

全国の電波天文観測局(シミュレーション地点:電波天文台指定)での回折シミュレーション結果

パラメータ	値
送信周波数f(MHz)	23600
送信給電線損失Lt(dB)	0
受信給電線損失Lr(dB)	0

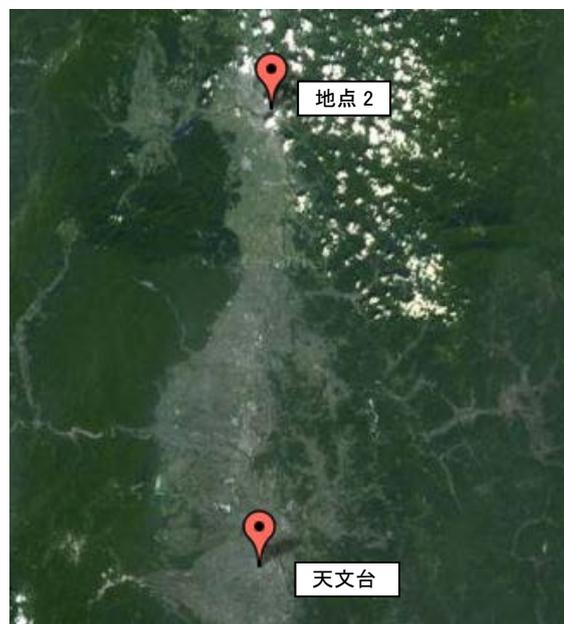
自由空間伝搬損失 $L_p(\text{dB}) = 32.44 + 20\log(f(\text{MHz})) + 20\log(D(\text{km}))$
 総伝搬損失 $\Gamma(\text{dB}) = \Gamma_0(\text{dB}) + Z(\text{dB})$

天文台	送信点	送受信間直線距離D(km)	自由空間伝搬損失 $\Gamma_0(\text{dB})$	回折損失Z(dB)	総伝搬損失 $\Gamma(\text{dB})$	スワリアス空中線電力(dBm/MHz)	送信局空中線利得(dBi)	干渉値(dBm/MHz)	干渉閾値(dBm/MHz)	干渉マージン(dB)	
1	VERA水沢20m	追加送信点1	44.9	152.94	95.21	248.15	-33	40	-241.15	-191	50.15
	追加送信点2	63.3	155.93	37.5	193.43	-33	40	-186.43	-191	-4.57	
2	VERA入来	追加送信点1	14.7	143.24	33.6	176.84	-33	40	-169.84	-191	-21.16
	追加送信点2	23.6	147.36	44.39	191.75	-33	40	-184.75	-191	-6.25	
3	VERA小笠原	追加送信点1	2.48	127.79	89.63	217.42	-33	40	-210.42	-191	19.42
	追加送信点2	50.3	153.93	97.46	251.39	-33	40	-244.39	-191	53.39	
4	VERA石垣島	追加送信点1	8.1	138.07	44.8	182.87	-33	40	-175.87	-191	-15.13
	追加送信点2	120.5	161.52	47.41	208.93	-33	40	-201.93	-191	10.93	
5	野辺山(NRO)	追加送信点1	8.7	138.69	42.43	181.12	-33	40	-174.12	-191	-16.88
	追加送信点2	32.2	150.06	96.23	246.29	-33	40	-239.29	-191	48.29	

1. VERA 水沢(電波天文台指定地点での追加算出)

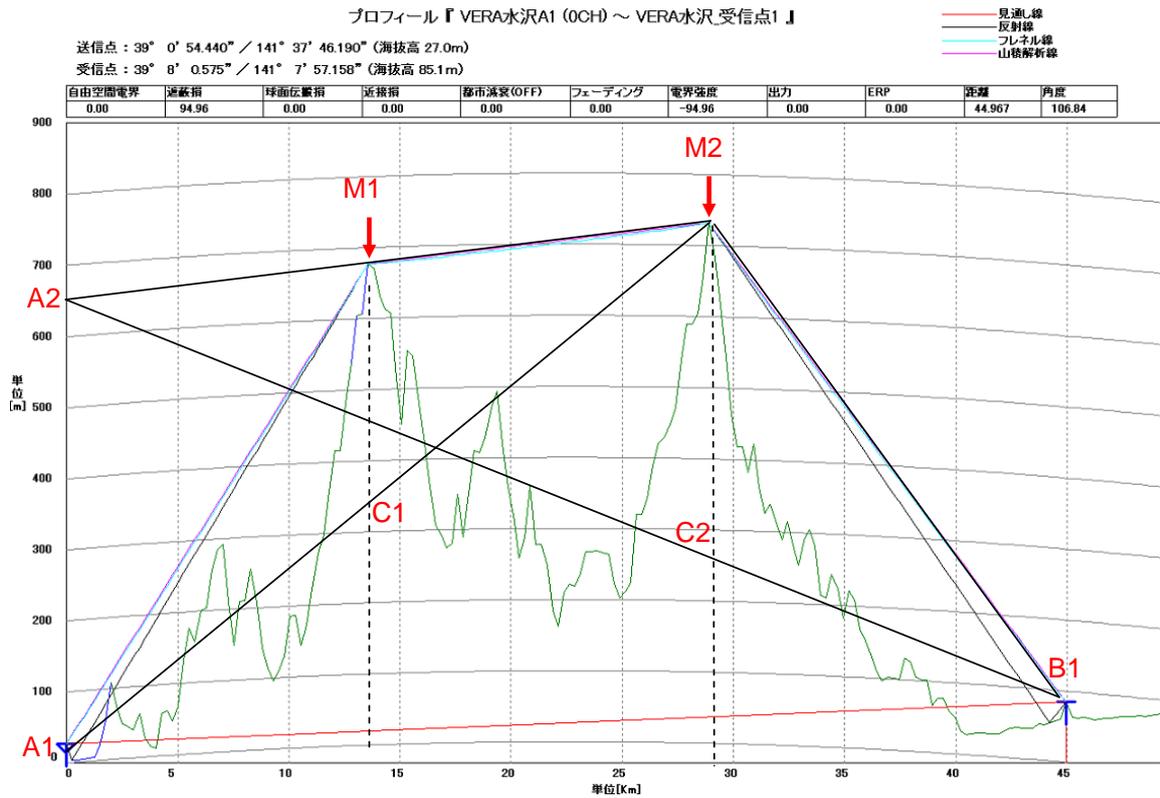


追加第 1 地点 (44.9km)



追加第 2 地点 (63.3km)

<追加送信点1—VERA 水沢 20m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a (km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	44.9	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	29	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	31.4	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	13.5	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	15.5	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	15.9	
A1ポイント標高	h1(m)	27	
B1ポイント標高	h2(m)	85.1	
M1ポイント標高	hm1(m)	680	
M2ポイント標高	hm2(m)	730	
C1ポイント標高	hp1(m)	341.94	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	338.06	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	659.50	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	261.36	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	468.64	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

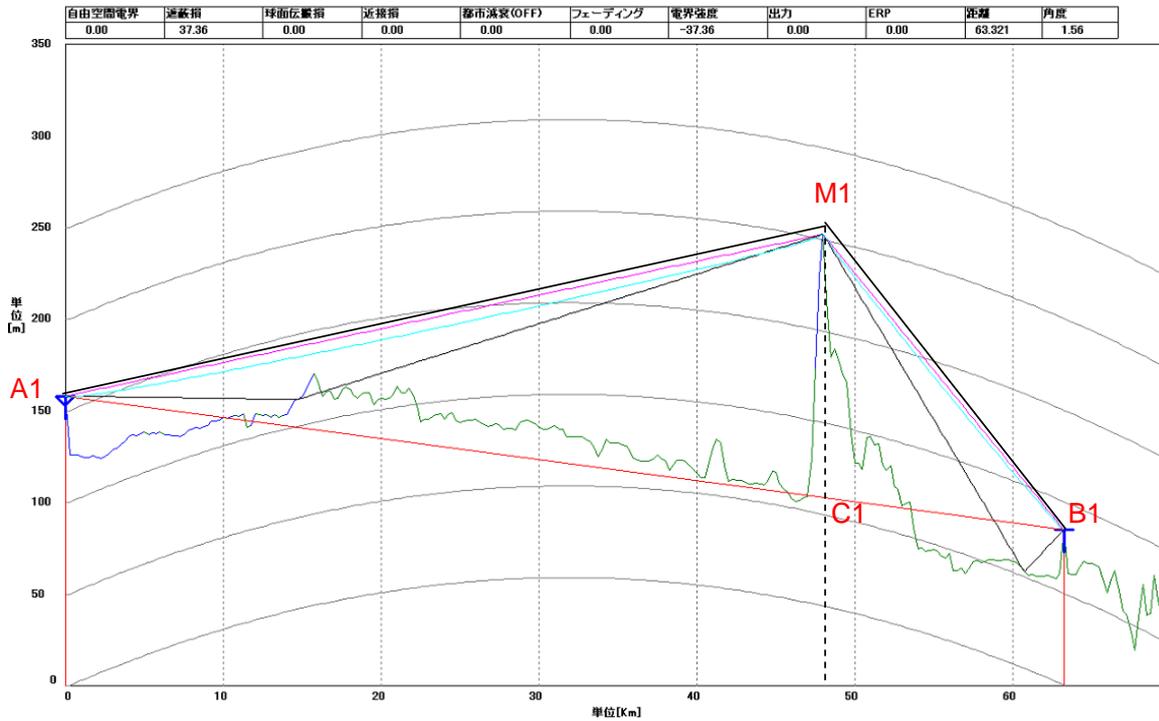
項目	記号	値	計算式
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.01	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	9.58	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	35.30	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	46.96	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	11.43	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	41.02	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	48.26	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	95.21	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	152.9431669	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	248.16	= Γ0+Zt

<追加送信点 2—VERA 水沢 20m>

プロフィール『VERA水沢A2 (0CH) ~ VERA水沢 受信点1』

送信点 : 39° 42' 13.080" / 141° 9' 9.660" (海拔高 158.0m)
 受信点 : 39° 8' 0.575" / 141° 7' 57.158" (海拔高 85.1m)

見通し線
 反射線
 フレネル線
 山脈折線



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D(km)	63.3	=d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	47.5	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	15.8	
A1ポイント標高	h1(m)	158	
M1ポイント標高	hm1(m)	205	
B1ポイント標高	h2(m)	85.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	59.11	= (h1*d2+h2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	145.89	=hm1-hp1

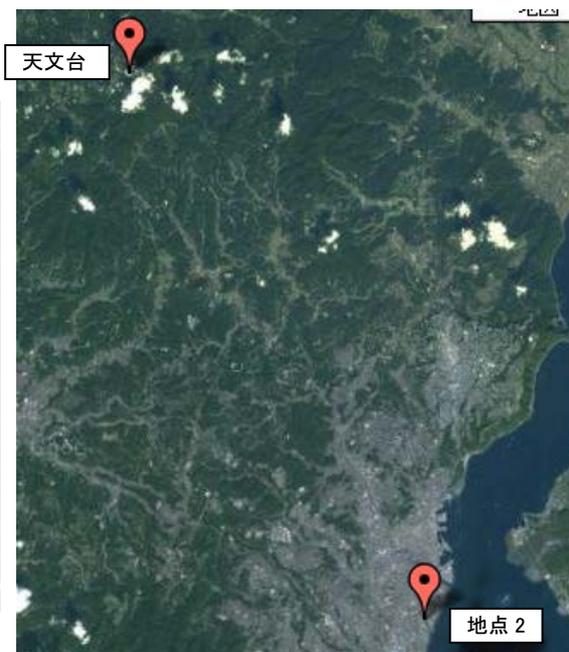
周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	=300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	12.28	=√((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	11.88	=CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	37.50	=16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	155.9263143	=32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ(dB)	193.42	=Γ0+Z1

2. VERA 入来(電波天文台指定地点での追加算出)

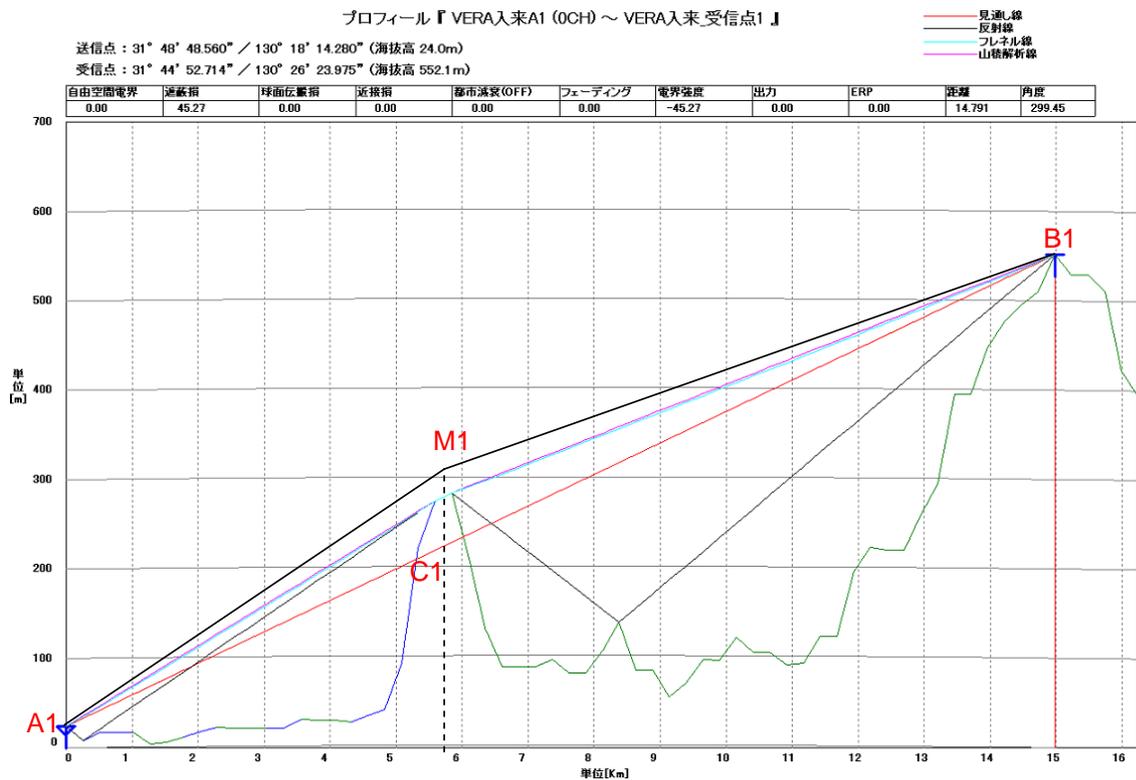


追加第 1 地点 (14.7km)



追加第 2 地点 (23.6km)

<追加送信点 1—VERA 入来 20m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

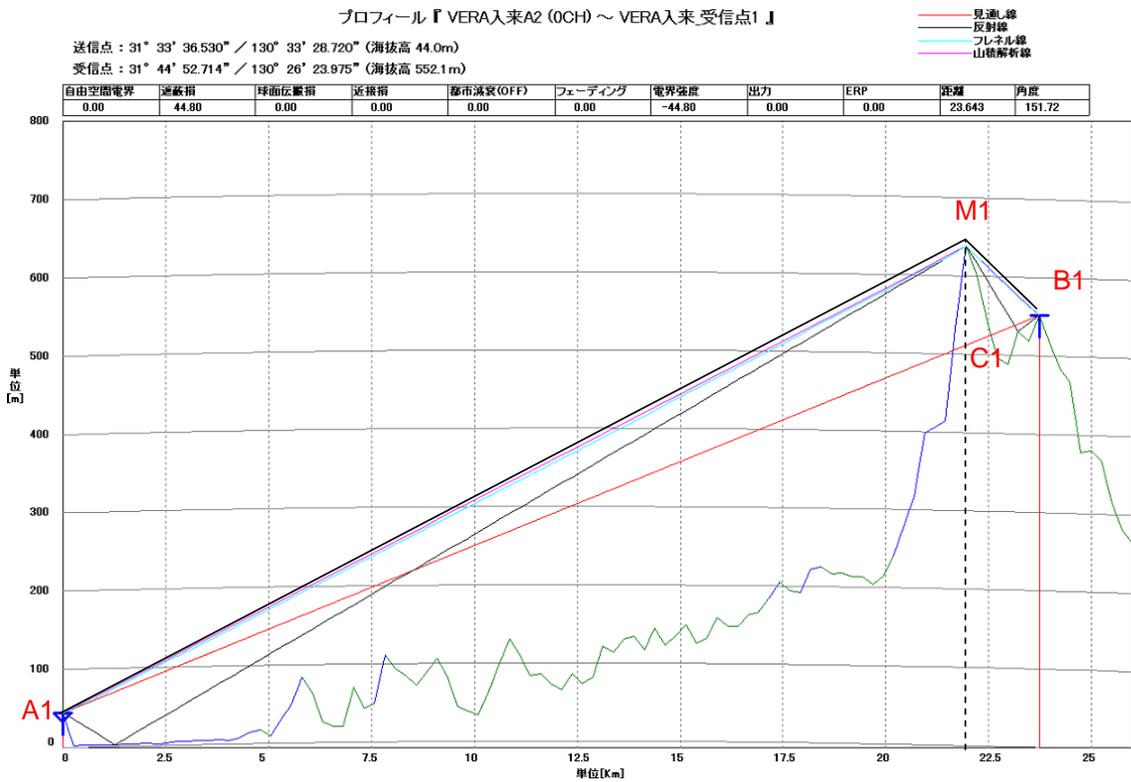
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D(km)	14.7	= d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	5.8	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	8.9	
A1ポイント標高	h1(m)	24	
M1ポイント標高	hm1(m)	280	
B1ポイント標高	h2(m)	552.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	229.33	= (h1*d2+h2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	90.67	= hm1-hp1

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	6.68	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	7.58	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	33.60	= 16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	143.2445868	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ(dB)	176.84	= Γ0+Z1

<追加送信点 2—VERA 入来 20m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D(km)	23.6	= d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	22	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	1.6	
A1ポイント標高	h1(m)	44	
M1ポイント標高	hm1(m)	630	
B1ポイント標高	h2(m)	552.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	515.58	= (h1*d2+h2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	114.42	= hm1-hp1

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	4.35	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	26.28	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	44.39	= 16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	147.3564801	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ(dB)	191.75	= Γ0+Z1

3. VERA 小笠原(電波天文台指定地点での追加算出)

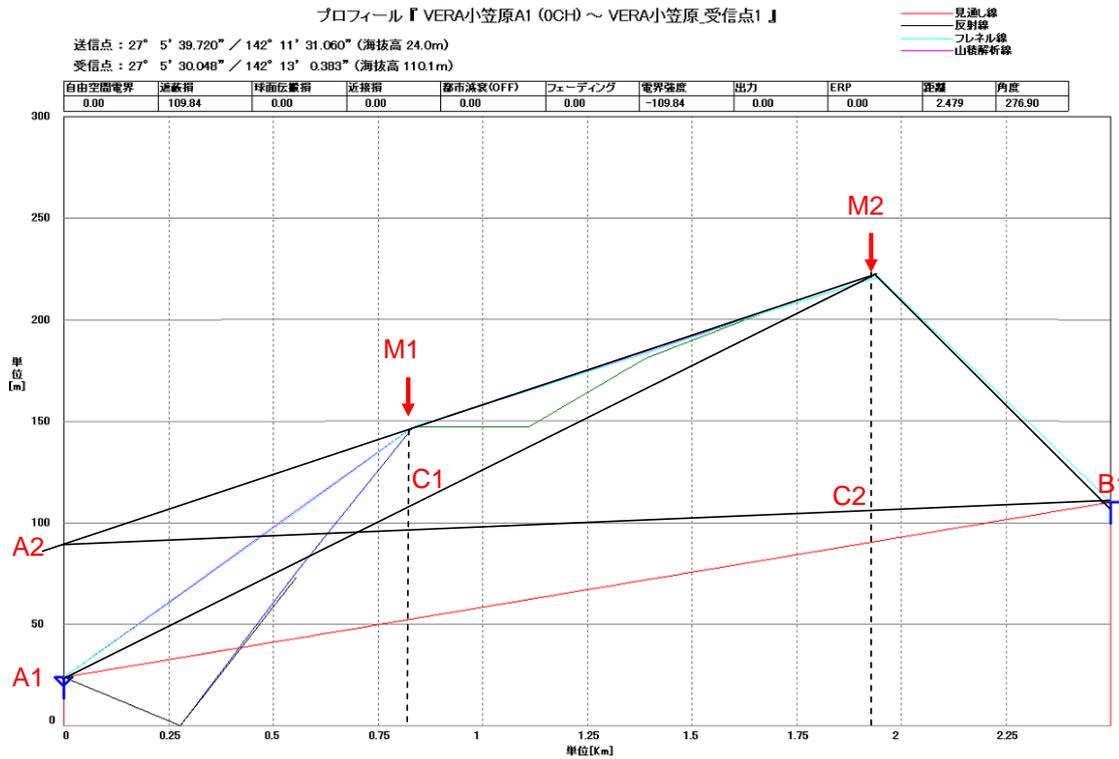


追加第 1 地点 (2.48km)



追加第 2 地点 (50.3km)

<追加送信点 1—VERA 小笠原 20m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a (km)	6370

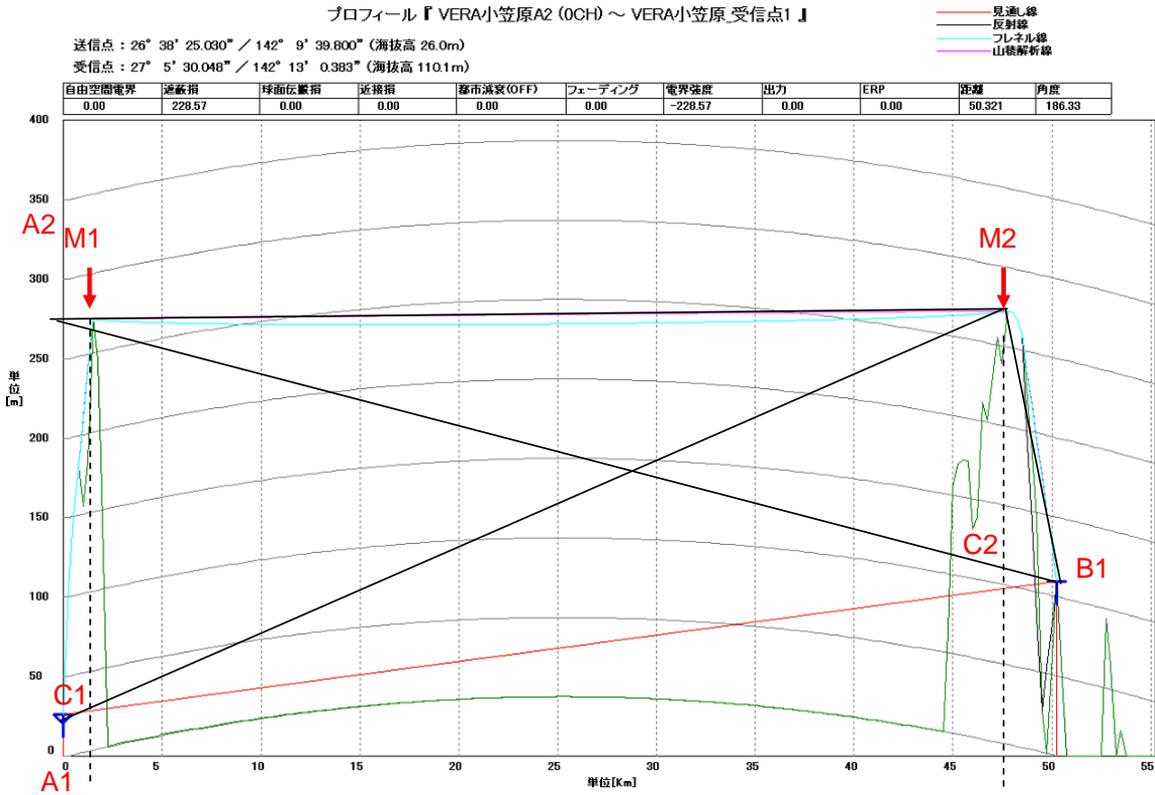
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	2.48	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	1.9	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	1.68	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	0.8	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	1.1	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	0.58	
A1ポイント標高	h1(m)	24	
B1ポイント標高	h2(m)	110	
M1ポイント標高	hm1(m)	145	
M2ポイント標高	hm2(m)	225	
C1ポイント標高	hp1(m)	108.58	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	36.42	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	86.91	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	104.53	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	120.47	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.01	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	2.43	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	15.01	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	39.53	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	2.38	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	50.69	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	50.10	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	89.63	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	127.7872737	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	217.41	= Γ0+Zt

<追加送信点 2—VERA 小笠原 20m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a (km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	50.3	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	47.5	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	49.3	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	1	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	46.5	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	2.8	
A1ポイント標高	h1(m)	26	
B1ポイント標高	h2(m)	110.1	
M1ポイント標高	hm1(m)	270	
M2ポイント標高	hm2(m)	270	
C1ポイント標高	hp1(m)	28.40	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	241.60	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	272.80	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	111.33	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	158.67	= hm2-hp2

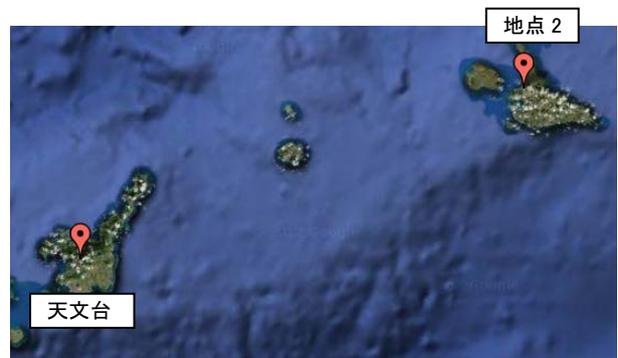
周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.01	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	3.53	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	68.49	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	52.71	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	5.80	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	27.37	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	44.75	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	97.46	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	153.9295998	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	251.39	= Γ0+Zt

4. VERA 石垣島(電波天文台指定地点での追加算出)

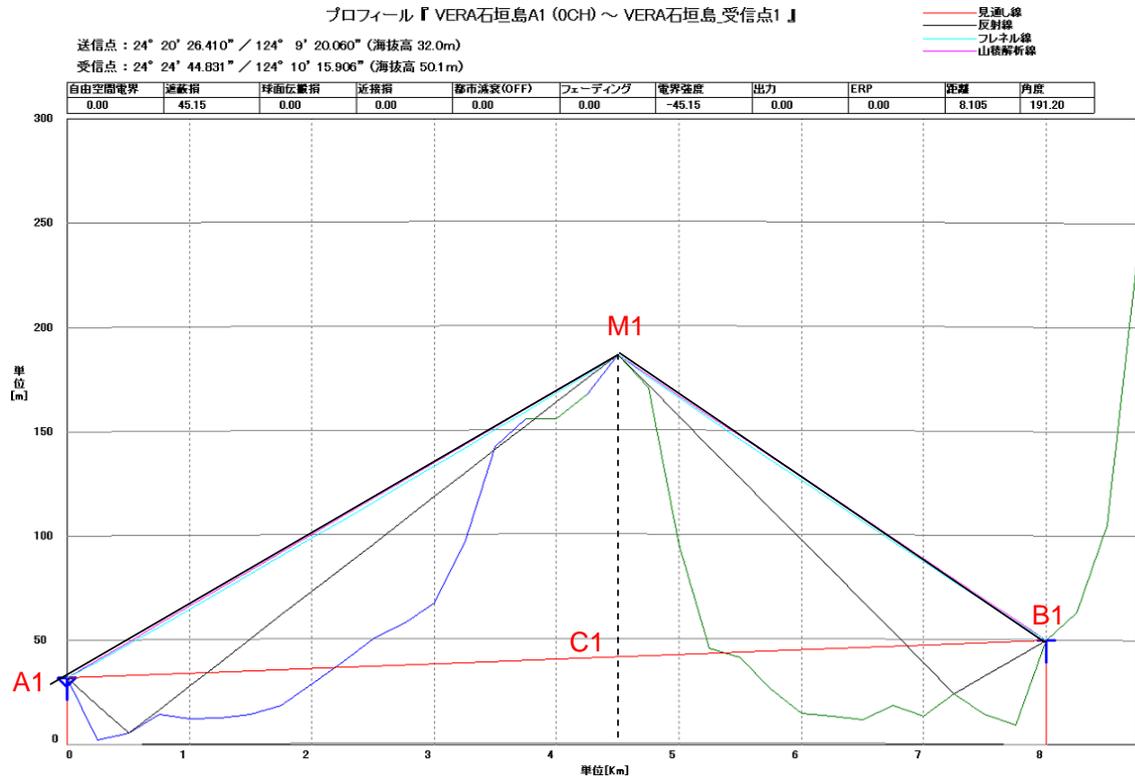


追加第 1 地点(8.1km)



追加第 2 地点(120.5km)

<追加送信点1—VERA 石垣島 20m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D(km)	8.1	= d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	4.5	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	3.6	
A1ポイント標高	h1(m)	32	
M1ポイント標高	hm1(m)	180	
B1ポイント標高	h2(m)	50.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	41.10	= (h1*d2+h2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	138.90	= hm1-hp1

周波数に依存するパラメータ

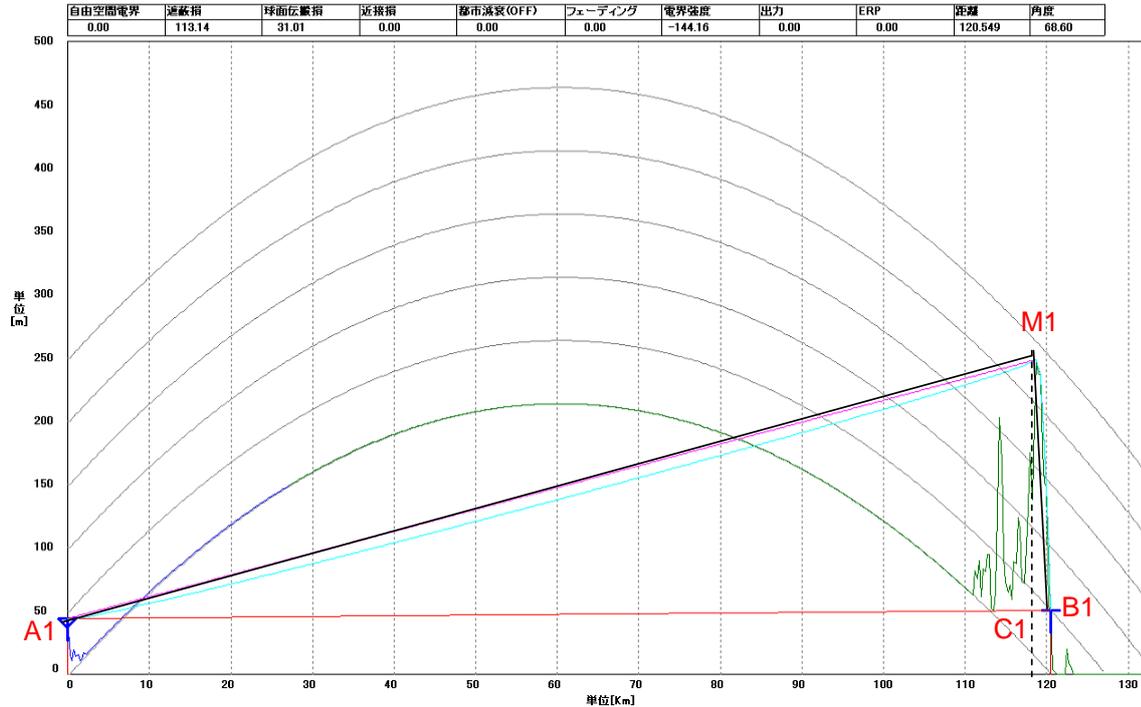
項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	5.04	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	27.55	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	44.80	= 16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	138.0679404	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ(dB)	182.87	= Γ0+Z1

<追加送信点 2—VERA 石垣島 20m>

プロフィール『VERA石垣島A2(0CH)～VERA石垣島受信点1』

送信点：24° 48' 19.780" / 125° 16' 52.140" (海拔高 44.0m)
 受信点：24° 24' 44.831" / 124° 10' 15.906" (海拔高 50.1m)

見出し線
 反射線
 フレネル線
 山嶺解析線



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D(km)	120.5	= d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	118	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	2.5	
A1ポイント標高	h1(m)	44	
M1ポイント標高	hm1(m)	240	
B1ポイント標高	h2(m)	50.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	32.61	= (h1*d2+h2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	207.39	= hm1-hp1

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	5.58	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	37.18	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	47.41	= 16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	161.517981	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ(dB)	208.92	= Γ0+Z1

5. NRO45m(電波天文台指定地点での追加算出)

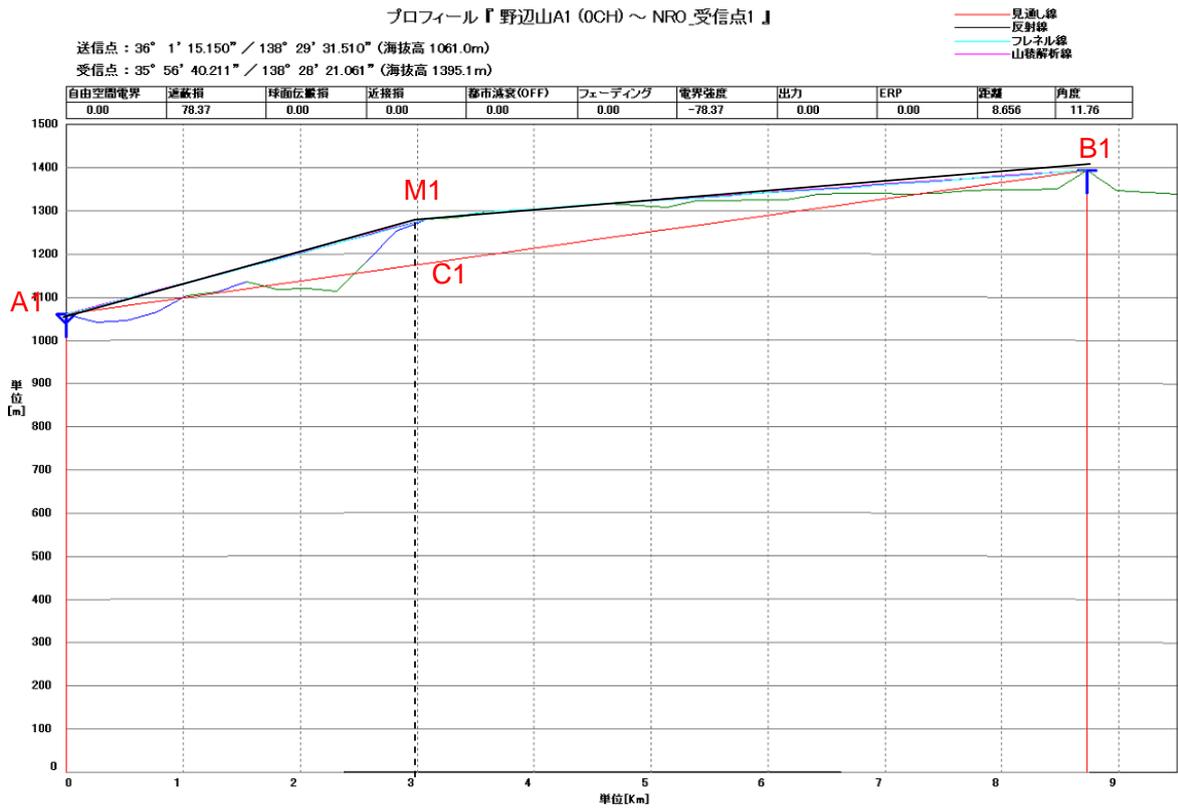


追加第 1 地点 (8.7km)



追加第 2 地点 (32.2km)

<追加送信点 1—NRO45m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a (km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

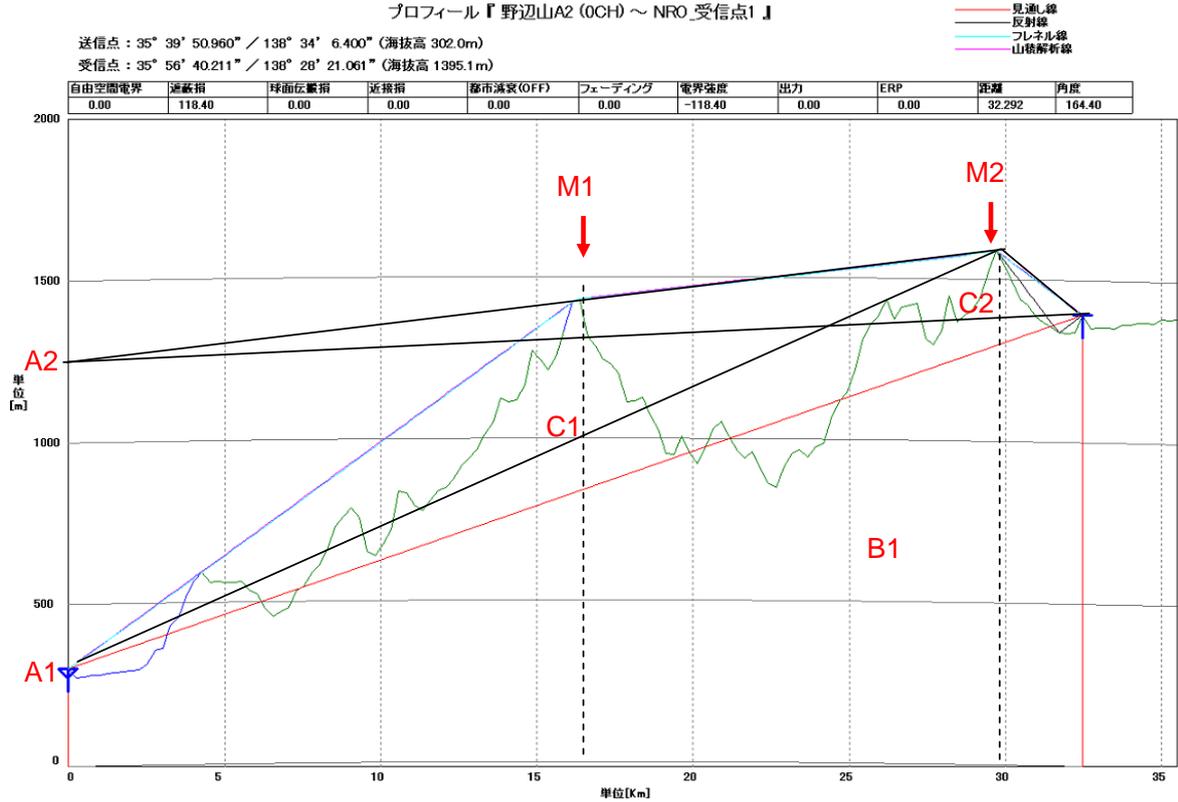
項目	記号	値	
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D (km)	8.7	= d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1 (km)	3	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2 (km)	5.7	
A1ポイント標高	h1 (m)	1061	
M1ポイント標高	hm1 (m)	1280	
B1ポイント標高	h2 (m)	1395.1	
C1ポイント標高	hp1 (m)	1175.20	= (h1*d2+h2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1 (m)	104.80	= hm1-hp1

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f (MHz)	23600	
信号波長	λ (m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1 (m)	5.00	= √((λ * d1 * d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	20.97	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1 (dB)	42.43	= 16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0 (dB)	138.6886251	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ (dB)	181.12	= Γ0+Z1

<追加送信点 2—NRO45m>

プロフィール『野辺山A2 (0CH) ~ NRO_受信点1』



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a (km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D (km)	32.2	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2 (km)	29.5	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3 (km)	15.7	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1 (km)	16.5	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2 (km)	1.3	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3 (km)	2.7	
A1ポイント標高	h1 (m)	302	
B1ポイント標高	h2 (m)	1395.1	
M1ポイント標高	hm1 (m)	1400	
M2ポイント標高	hm2 (m)	1600	
C1ポイント標高	hp1 (m)	1015.37	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1 (m)	384.63	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2 (m)	1174.81	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2 (m)	1371.94	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2 (m)	228.06	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f (MHz)	23600	
信号波長	λ (m)	0.01	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1 (m)	9.61	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	40.01	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1 (dB)	48.04	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2 (m)	5.61	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	40.67	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2 (dB)	48.19	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt (dB)	96.23	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0 (dB)	150.0553575	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ (dB)	246.28	= Γ0+Zt

干渉回避マップ

23GHz 帯無線伝送システムの送信場所を特定しない条件で電波天文との干渉エリアマップを検討するため、電波天文台のパラボラアンテナ最高点(地上高)から 23GHz 帯の電波を輻射した時の電界強度エリア計算を行い、電界強度が干渉しきい値以下となるエリアを示すと共に、23GHz 帯無線伝送システムで使用する送信アンテナの指向特性によって干渉を緩和できるエリアについて検討した。

本検討では、電界強度計算シミュレーションソフトとして「エリアかくべえ」を使用した。その他のシミュレーションソフトとして「ミスター電波」があるが、マップ計算距離半径が短いためエリアマップ作成用としては使用できなかった。しかし、特定した 2 地点間の回折損失を含む伝搬損失や電界強度計算は長距離においても可能なため、23GHz 帯無線伝送システム無線局の設置場所を特定しての干渉検討には利用できる事を確認している。

「エリアかくべえ」の設定を以下として電界強度シミュレーションを行った。

「エリアかくべえ」シミュレーション設定

設定項目	設定
計算方式	最新
使用係数 : 反射	規定値
使用係数 : B	なし
使用係数 : C	なし
空気減衰 (dB/km)	0.02
送信周波数 (MHz)	23,200
送信電力 (W)	1.0
送信アンテナ利得 (dBi)	0
指向性	無指向性
偏波面	水平
受信アンテナ高さ (m)	20

● 干渉エリアマップ作成の計算例とエリア設定

23GHz 帯無線伝送システム無線局空中線を $\phi 60\text{cm}$ パラボラとした時、電波天文台において、23GHz 帯無線伝送システム無線局が輻射するスプリアスの受信電力が干渉しきい値となる所要伝播損失 L_p は以下となる。

$$L_p = P_{ts} + G_{At\theta} + G_{Ar\theta} - L_{ft} - L_{fr} - T_{il}$$

P_{ts} : 23GHz 帯無線伝送システム無線局のスプリアスの空中線電力 -33 (dBm/MHz)
[本報告書のスプリアススペクトルマスクより]

$G_{At\theta}$: 23GHz 帯無線伝送システム無線局空中線最大利得 40 (dBi)
「 $\phi 60\text{cm}$ パラボラアンテナ利得」

$G_{Ar\theta}$: 電波天文業務の受信設備の空中線利得 0 (dBi)
「電波天文側との合意の元に、空中線の水平方向利得として設定」

L_{ft} : 送信給電線損失 0 (dB) 「干渉が最大となる値」

L_{fr} : 受信給電線損失 0 (dB) 「干渉が最大となる値」

T_{il} : 干渉しきい値 -191 (dBm/MHz) [本報告書の干渉しきい値より]

従って、

$$L_p = -33(\text{dBm/MHz}) + 40(\text{dBi}) + 0(\text{dBi}) - 0(\text{dB}) - 0(\text{dB}) + 191 = 198(\text{dB})$$

となり、伝播損失が、 198 (dB) 以上であれば妨害を与えない。

電界強度計算ソフトは、ある地点から送信した場合の電界強度を表示するものであるが、計算結果は伝播損失を計算したものであり、以下の考え方で干渉エリアを求めた。

電波天文台地点から空中線電力 P_t を 1W 、無指向性アンテナ利得 G_t を 0 (dBi) で輻射したとき、周知の伝播距離による自由空間損失と電界強度の計算式で、自由空間損失が所要伝播損失の 198 (dB) となる電界強度を求める。

まず、自由空間損失 L_b が 198 (dB) となる距離を求める。 $L_b = (4\pi d / \lambda)^2$ より、
距離 d [km]、周波数を f [MHz] とすると、 $L_b = 32.44 + 20\log(f \text{ [MHz]}) + 20\log(d \text{ [km]})$ となる。

従って、

198=32.44 + 20log(23200[MHz]) + 20log(d [km])となり、d=8210 (km)となる。

次に、距離 d における電界強度 E_r を求める。

電界強度は、 $E_o = \frac{\sqrt{30Pt \cdot Gt}}{d}$ (V/m) で求められ、

$$E_r = \frac{\sqrt{30 \times 1 \times 1}}{8210000} = 6.671 \times 10^{-7} \text{ (V/m) となる。}$$

$\text{dB } \mu\text{V/m}$ で表すと、 $20 \times \log_{10}(6.671 \times 10^{-7}) \approx -3$ ($\text{dB } \mu\text{V/m}$) となり、

23GHz 帯無線伝送システム無線局空中線を $\phi 60\text{cm}$ パラボラとし、主方向に電波天文が存在しても、これ以下となる電界強度の地域では干渉しない。

また、 $\phi 60\text{cm}$ パラボラの主方向から 80 度以上では利得が最も少なくなり、利得: -10 (dBi) となる。この時の所要伝播損失は、

$$L_p = -33 \text{ (dBm/MHz)} - 10 \text{ (dBi)} + 0 \text{ (dBi)} - 0 \text{ (dB)} - 0 \text{ (dB)} + 191 = 148 \text{ (dB)}$$

所要距離は、 $148 = 32.44 + 20\log(23200[\text{MHz}]) + 20\log(d [\text{km}])$ となり、 $d = 25.97$ (km) となる。

この時の電界強度は約 47 ($\text{dB } \mu\text{V/m}$) となり、これ以上となる地域では、 $\phi 60\text{cm}$ パラボラの指向特性を考慮しても干渉を回避できない。

電界強度計算ソフトを使用して、電波天文台地点から空中線電力を 1W、無指向性アンテナ利得 0 (dBi) で輻射したと想定して干渉エリアを求める場合の各種アンテナに対するシミュレーション用電界強度しきい値を、上記計算と同様に求めた結果を以下の表に示す。

表 1 電界強度しきい値

23GHz 帯無線伝送システム無線局空中線			所要伝播損失 (dB)	電界強度しきい値 ($\text{dB } \mu\text{V/m}$)	マージン 10dB となるしきい値 ($\text{dB } \mu\text{V/m}$) 注 1
型式	指向方向(度)	方向利得 (dBi)			
60cm パラボラ	± 80 以上	-10	148	47	
	主方向	40	198	-3	-13
30cm パラボラ	± 35 以上	-5.5	152.5	43	
	主方向	34.5	192.5	3	-7
16cm レンズ	± 60 以上	-9.5	148.5	47	
	主方向	30.5	188.5	7	-3
高利得 90 度セクター	± 100 以上	-7	151	44	
	主方向	23	181	14	4
90 度セクター	± 130 以上	0	158	37	
	主方向	20	178	17	7

注 1: 23GHz 帯無線伝送システム無線局空中線の指向方向を問わず、10dB のマージンを持って干渉回避できるしきい値。

電界強度計算ソフトでは、山岳遮蔽や回折による伝播損失が考慮されており、23GHz 帯無線伝送システム無線局空中線の地上高を 20m とし、 $\phi 60\text{cm}$ パラボラでは主方向でも干渉回避できる電界強度計算しきい値を -3 ($\text{dB } \mu\text{V/m}$) として干渉エリアマップとした。また、23GHz 帯無線伝送システム無線局空中線の指向特性により干渉回避できるエリアを検討するため、空中線最大利得からの減衰量が 30dB (利得: 10dBi) 以上となる主方向から 10 度以上とした場合の 27 ($\text{dB } \mu\text{V/m}$) となるエリア、および減衰量 50dB (利得: -10dBi) 以上となる主方向から 80 度以上とした場合の 47 ($\text{dB } \mu\text{V/m}$) となるエリアを求めると共に、指向特性を考慮しても干渉回避できないエリアも求めた。

更に、23GHz 帯無線伝送システム無線局空中線の主方向最大利得においても干渉しきい値以下となるエリアとして、マージンが 10dB 以下 (注意エリア) およびマージン 10dB 以上 (干渉なし) のエリアについても求めた。

23GHz 帯無線伝送システム無線局で使用されることが予測される空中線として 5 機種を選択し、上

述と同様に求めた各空中線の指向特性を考慮した電界強度シミュレーションを行うための設定しきい値を参考として以下の表に示す。尚、空中線の指向特性による方向性干渉エリア分けのしきい値(エリア色分け)については、アンテナ毎の特性を考慮し、判定が容易となる値を選択した。

表 2 電界強度シミュレーションしきい値

エリア色	送信空中線指向特性による干渉回避	電界強度シミュレーションしきい値(dB μ V/m)				
		60cm パラボラ (利得:40dBi)	30cm パラボラ (利得:34.5dBi)	16cm レンズ (利得:30.5dBi)	高利得 90 度セクター (利得:23dBi)	90 度セクター (利得:20dBi)
赤	回避不可	47 以上	43 以上	47 以上	44 以上	37 以上
緑	回避可	27~47	23~43	27~47	24~44	27~37
灰	回避可	-3~27	3~23	7~27	14~24	17~27
黄	注意	-13~-3	-7~3	-3~7	4~14	7~17
透明	干渉なし	-13 以下	-7 以下	-3 以下	4 以下	7 以下

● 干渉エリアマップの見方

エリアの色に応じて空中線指向特性を考慮して送信機を運用することにより干渉回避が可能となる。送信空中線の方向(指向特性)が干渉緩和要素となるため、表 2 のエリア色分けしきい値以上の干渉マージンを得るために必要となる送信空中線の指向角度と所要減衰量を干渉回避条件として表 3 に示す。(所要減衰量=電界強度シミュレーションしきい値(表 2)-主方向の電界強度しきい値(表 1))

表 3 干渉回避条件

エリア色	送信空中線指向特性による干渉回避	干渉回避条件									
		60cm パラボラ (利得:40dBi)		30cm パラボラ (利得:34.5dBi)		16cm レンズ (利得:30.5dBi)		高利得 90 度セクター (利得:23dBi)		90 度セクター (利得:20dBi)	
		所要減衰量 (dB)	指向角度 (度)	所要減衰量 (dB)	指向角度 (度)	所要減衰量 (dB)	指向角度 (度)	所要減衰量 (dB)	指向角度 (度)	所要減衰量 (dB)	指向角度 (度)
赤	回避不可	-	/	-	/	-	/	-	/	-	/
緑	回避可	50 以上	±80 以上	40 以上	±35 以上	40 以上	±60 以上	30 以上	±100 以上	20 以上	±130 以上
灰	回避可	30 以上	±10 以上	20 以上	±10 以上	20 以上	±10 以上	10 以上	±70 以上	10 以上	±80 以上
黄	注意	0 以上	全角	0 以上	全角	0 以上	全角	0 以上	全角	0 以上	全角
透明	干渉なし		全角		全角		全角		全角		全角

所要減衰量: 送信空中線の最大利得からの減衰量

指向角度: 送信空中線の主ビーム方向(0度)と電波天文台方向とが成す角度

送信アンテナ指向性による干渉回避

[回避不可]

23GHz 帯無線伝送システム無線局送信アンテナ指向特性で得られる最大減衰方向でも干渉するため、障害物等による遮蔽損失を考慮して干渉回避を検討する必要があるエリア。

[回避可]

23GHz 帯無線伝送システム無線局送信アンテナ指向特性で得られる方向減衰量により、回避可能なエリア。

[注意]

23GHz 帯無線伝送システム無線局送信アンテナ主方向(最大利得)においても回避可能だが、干渉マージンが 10dB 以下のエリア。

[干渉なし]

23GHz 帯無線伝送システム無線局送信アンテナ主方向(最大利得)においても干渉マージンが 10dB 以上あるエリア。

23GHz 帯無線伝送システム無線局送信アンテナ主方向(最大利得)においても回避可能だが、干渉マージンが 10dB 以下のエリア。

[干渉なし]

23GHz 帯無線伝送システム無線局送信アンテナ主方向(最大利得)においても干渉マージンが 10dB 以上あるエリア。

なお、このマップのエリアごとの干渉計算の間隔は 1km メッシュ毎、計算の基準とする標高データのサンプリングは、国土地理院の地図データから用い、1km メッシュ中心の標高を取得し、電波天文局から半径 200 kmまでの干渉計算を行った。計算と実測との比較は 23GHz帯ではまだ行われておらず、回折回数が多数回にわたる場合は 5~10dB 程度の誤差もありうるが、広い地域にわたって干渉レベルの分布が一目でわかるので、送信局の設置位置の検討の参考にされたい。ただし、この簡易マップ上で、干渉レベルの色分けが複雑になっている地形が複雑なエリアについては、計算間隔が地形の変化に比べて広いこと、及び標高が高いことから、望遠鏡まで見通しになる可能性のあるエリアについては、計算範囲が 200 kmに限っているため、干渉許容レベルを超える地点が存在する可能性があるため、留意が必要である。

● 干渉エリアマップ作成観測局一覧

干渉検討した電波天文観測局

※世界測地系

	局名	局の位置		アンテナ 口径(m)	アンテナの 高さ(m)
		東経(度)	北緯(度)		
1	VERA 水沢	141.132544	39.133493	20	22
2	VERA 入来	130.439993	31.747976	20	22
3	VERA 小笠原	142.216773	27.09168	20	22
4	VERA 石垣島	124.171085	24.412453	20	22
5	水沢 10m	141.132372	39.133323	10	11
6	北大苦小牧	141.596898	42.673814	11	14
7	高萩	140.694866	36.698593	32	38
8	日立	140.692002	36.697552	32	39
9	NICT 鹿島	140.660051	35.955872	34	34
10	国土地理院つくば	140.088902	36.103148	32	35
11	野辺山(NRO)	138.472517	35.944503	45	47
12	JAXA 臼田	138.36201	36.132953	64	65
13	岐阜大岐阜	136.737092	35.467595	11	15
14	山口	131.556725	34.218203	32	39
15	鹿児島 6m	130.507107	31.46425	6	7
16	内之浦 注1	131.07816	31.254432	34	42

注1: 開局準備局