

電波天文業務との共用に向けた与干渉検討

2026/1

ITS情報通信システム推進会議(ITS Forum)/
ミリ波システム専門委員会/ミリ波レーダタスクグループ

目的

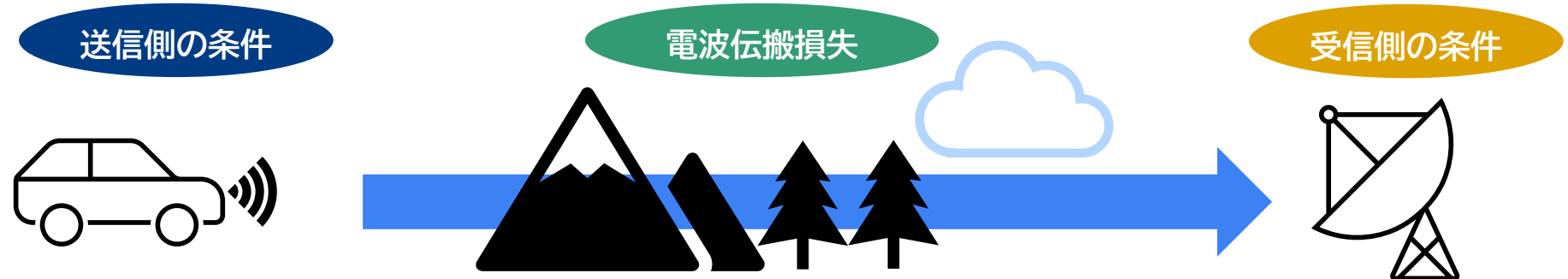
- 本与干渉検討は、76GHz帯車載レーダーの高度化によって同一周波数帯の一次業務である電波天文業務に与える影響を評価することを目的とする。
- 本検討では、影響評価において支配的となる条件を整理した上で、現実的な範囲で精緻化した評価を行った。

与干渉量算出の考え方

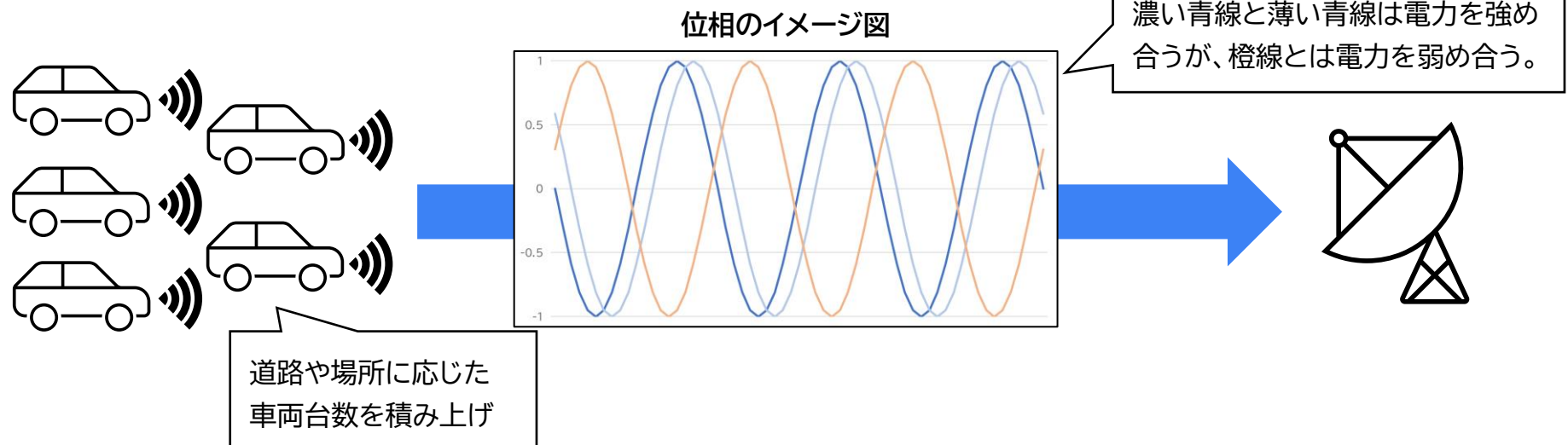
受信設備への与干渉量は、以下の考え方にに基づき算出する。

- ・ 車両1台ごとの与干渉量は、送信側の性能・電波伝搬の過程で生じる損失・受信側の性能により導出
- ・ 車両複数台による与干渉量は、車両1台が与える与干渉量を電波の位相を考慮し積み上げて算出

① 車両1台ごとの与干渉量



② 車両複数台による与干渉量

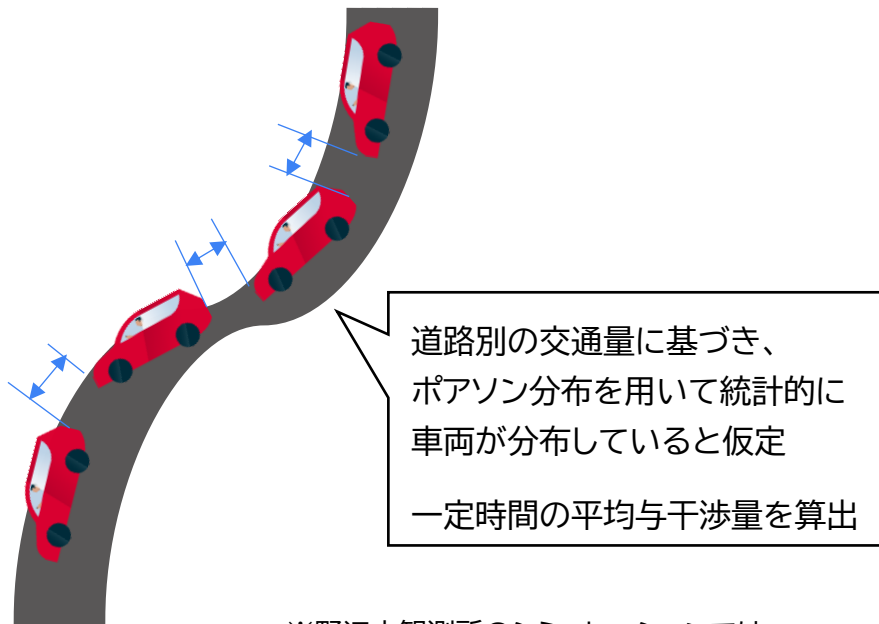


車両台数と位置の考え方

車両台数や車両の位置を検討するにあたり、交通量が多く受信設備を見通すことができる道路と、交通量が少ないまたは受信設備を見通すことができない道路では、与干渉量に与える影響が大きく異なることから、2つの手法に分けて評価することとした。

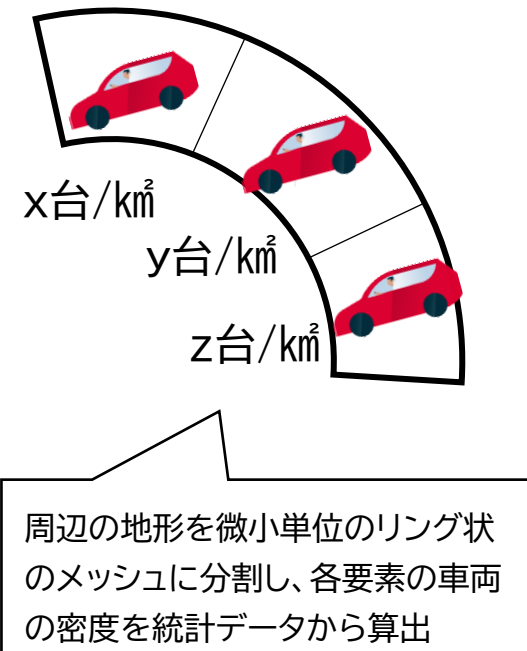
- ① 交通量モデル：
道路ごとの交通量に基づき、統計的に車両を走行させ一定時間における与干渉量の平均を算出
- ② 車両密度モデル：
周辺の地形を微小単位のメッシュに分割し、メッシュごとの車両密度から与干渉量を算出

- ① 交通量モデル：
交通量が多く受信設備を見通せる道路※



※野辺山観測所のシミュレーションでは、
おおよそ受信設備から3kmまでの範囲内に適用

- ② 車両密度モデル：
交通量が少ないまたは受信設備を見通せない道路

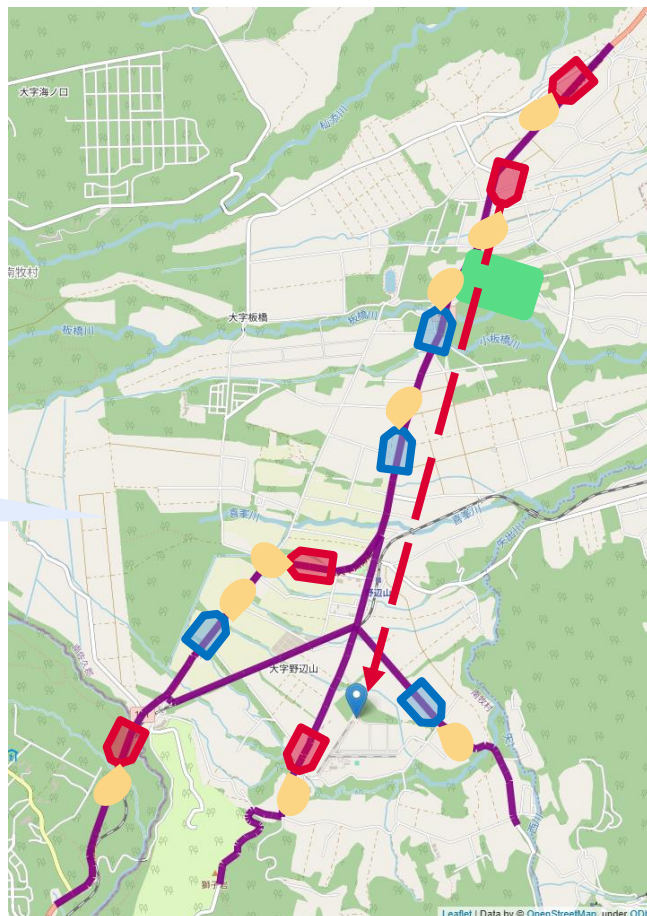


車両台数と位置の考え方(交通量モデル)

受信設備への影響が大きいと考えられる周辺の道路(交通量が多く見通しのある道路)上の車両からの与干渉量を算出する。

- ① 公表されている交通センサスや現地調査による各道路の交通量に基づき、車両を確率的に道路上に配置し、新型レーダーの普及率を反映
- ② 50ミリ秒ごとの車両の位置と向きを考慮
- ③ 各車両のレーダーから受信設備の射線上の植生、地形による回折を考慮し、車両ごとの与干渉量を算出
- ④ 受信設備からの距離ごとに与干渉量を積み上げて算出

車両の向きとアンテナパターンを考慮し与干渉量の総和を算出



車両(上り)

車両(下り)

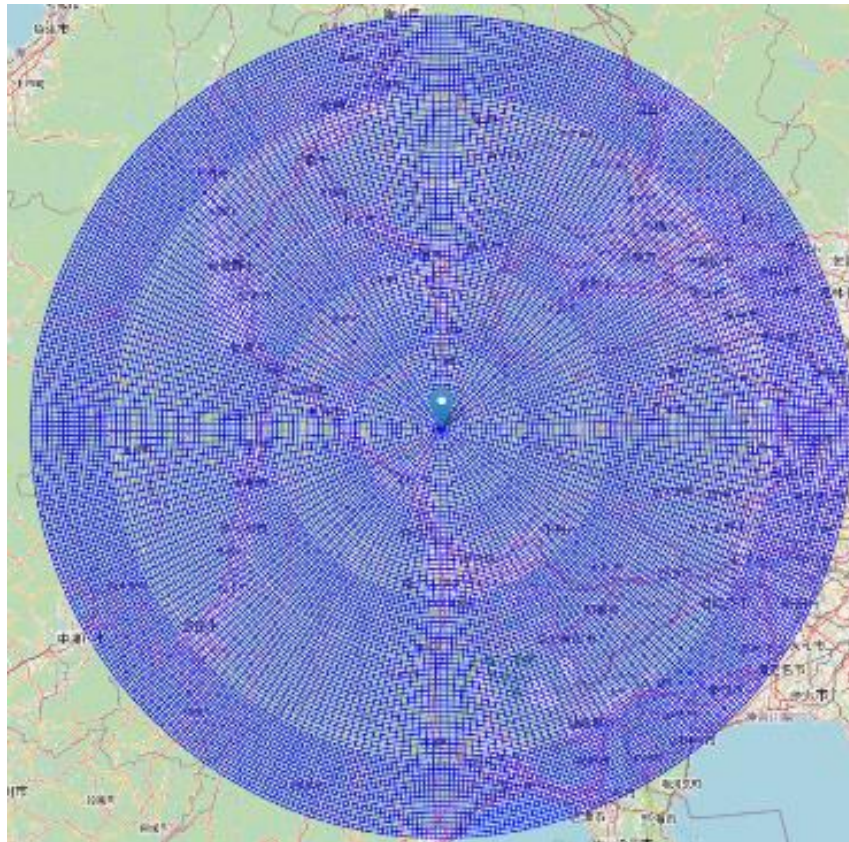
アンテナパターン

植生

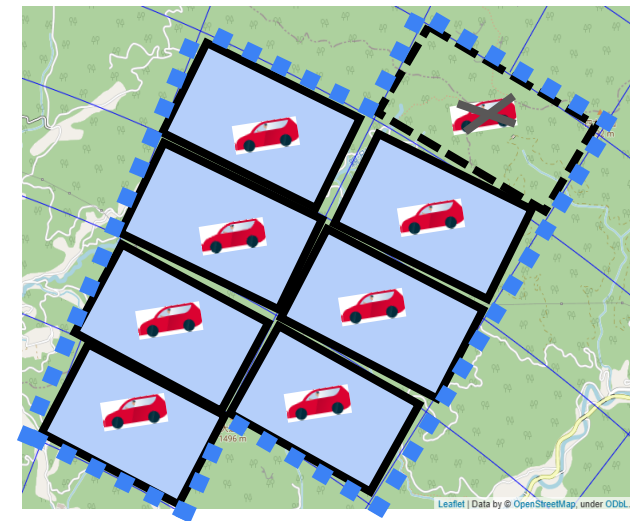
車両台数と位置の考え方(車両密度モデル)

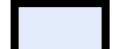
交通量が多くないまたは受信設備から一定の距離以上離れた道路上の車両からの与干渉量に関しては、各自治体の車両保有台数の統計値に基づき与干渉量を下記の手順に従って算出する。

- ① 受信設備を中心とした半径100km以内の地形を微小単位のリング状のメッシュに分割
- ② 各メッシュについて道路が存在するメッシュと存在しないメッシュに分け、存在するメッシュを有効メッシュとする
- ③ 各自治体の車両保有台数と面積から、有効メッシュ内の車両保有台数を算出し、新型レーダーの普及率を反映
- ④ 車両の走行時間をもとに車両の稼働率を算出し、有効メッシュ内の(動いている)車両台数を算出
- ⑤ メッシュごとに植生と、受信設備までの地形による遮蔽と回折を三次元で考慮し、与干渉量を算出



Map data from OpenStreetMap



-  ... 一つの市区町村に含まれるメッシュ範囲
-  ... 道路が存在するメッシュ
-  ... 道路が存在しないメッシュ

シミュレーションに用いたパラメータ

与干渉量のシミュレーションを実施するにあたり各種パラメータは以下のように定めた。
送信側の諸元は、FCC等で公開されている情報を採用し、車両に関するパラメータは統計に基づき算出した値を採用した。
受信側の諸元および電波伝搬に関するパラメータは、ITU-R勧告に示された値や算出モデルを採用した。

区分		パラメータ	値
送信側	レーダー	周波数	76.0-77.0GHz
		占有帯域幅	1GHz
		変調方式	FMCW方式
		Duty	50%
		送信アンテナ利得	交通量モデルのみFCCの公開事例をもとにしたブロードタイプを採用
		空中線電力	シミュレーションごとに変更
	車両 (集合)	1車両当たりのレーダー数	1台
		車両台数	実施方針②の通り、2つのモデルで算出 ① 交通量モデル： 交通センサスによる統計データ、および交通量の実測調査結果に基づき、各主要道路の車両台数を算出 ② 車両密度モデル： 各市区町村の車両保有台数に基づき、周辺道路に均等に分布していると仮定することで車両台数を算出
		新型レーダーの普及率	技術基準の改定後、2030年から新型レーダーを搭載した車両が順次市場投入される前提のもと、 年間の車両販売台数をもとに年次別の普及率を算出
		稼働率	都道府県別の昼間12時間の稼働率を採用
電波伝搬減衰		自由空間伝搬損失	ITU-R P.676-13の記載にならない、大気、酸素・水蒸気吸収損[0.15dB/km]を計上
		地球球面による回折損失	ITU-R P.526-15の記載にならない、等価地球半径導入による地球の丸みを考慮した回折損失を計上
		地形による回折損失	ITU-R P.526-15の記載にならない、天文台-干渉源間の地形(標高)に基づき、ナイフエッジ回折モデルにより算出・計上
		植生損失	ITU-R P.833-10の記載にならない、植生損[50dB/km]を計上
		回折時の植生損失	回折点のメッシュとその1km前のメッシュの標高差から勾配を算出し、勾配線と見通し線の差から植生深さを算出し、植生損失を適用
受信側		周波数	76.0-77.0GHz
		許容干渉電力	-198.4dBm/MHz
		受信アンテナ利得	0dBi

シミュレーション結果

野辺山観測所のシミュレーション結果

前述のパラメータおよびモデルに基づき、車載レーダーの普及率別かつ送信電力別の野辺山観測所への与干渉量のシミュレーションを実行すると、以下の結果となる。

モンテカルロ法によるシミュレーションに基づき、得られた結果の中央値および98%値を併記した。

下記の表に示すように普及率0.1%以下では与干渉量は閾値を下回る結果が得られた。

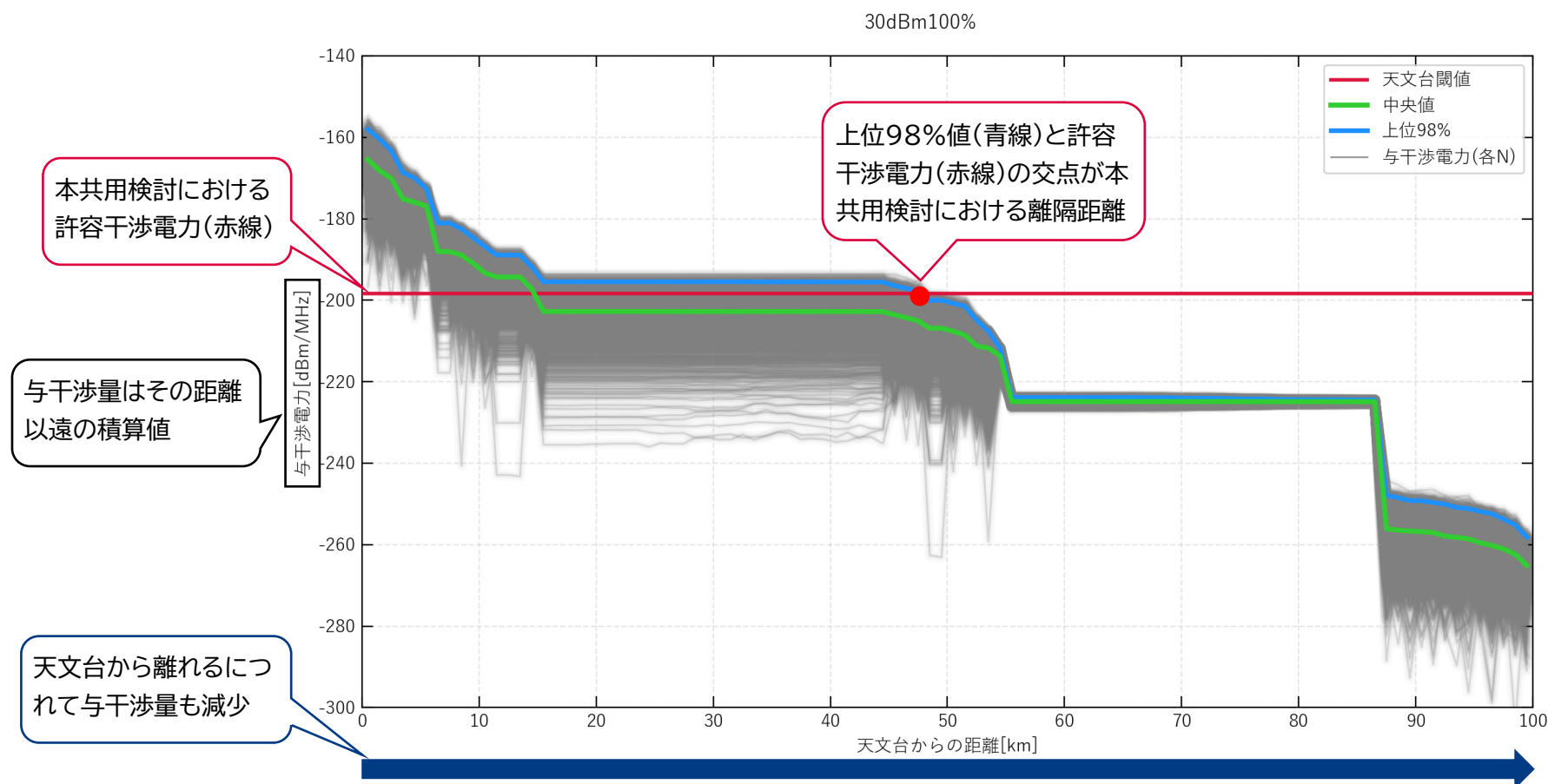
新型の車載レーダーの普及率に関しては別途予測を実施し、0.1%を超えるのは2032年と推計されている。

		普及率100%の場合		2031年	2032年	2036年
空中線電力(dBm)		規制上限値 30	物理的上限値※ 15	物理的上限値 15	物理的上限値 15	物理的上限値 15
等価等方放射電力(dBm)		50	30	30	30	30
レーダー普及率		100%	100%	0.1%	0.3%	1.5%
与干渉量 (dBm/MHz)	中央値	-165.435	-180.48	-210.469	-205.697	-198.708
	98%値	-157.985	-173.115	-203.046	-198.274	-191.285

※ 空中線電力の物理的上限値とは、現状の車載用ミリ波半導体が出力できる物理的な限界のこと

シミュレーション結果グラフの説明

- 以下のグラフは、レーダー位相をランダムパラメータとしたモンテカルロ法により、1,500回(N=1,500)の試行結果を表す。
- 灰色の線は各試行における与干渉量であり、緑線は中央値、青線は上位98パーセンタイル値を示す。また赤線は本共用検討における許容干渉電力(天文台の閾値)を示す。
- 横軸は野辺山観測所からの距離を表しており、ある距離における与干渉量は、その距離より遠方に存在するレーダーからの影響を積算した値を示す。そのため野辺山観測所から離れるにつれて与干渉量は小さくなる傾向を示す。



シミュレーション結果_野辺山観測所与干渉

[普及率100%、規制上限値(30dBm)にて出力]

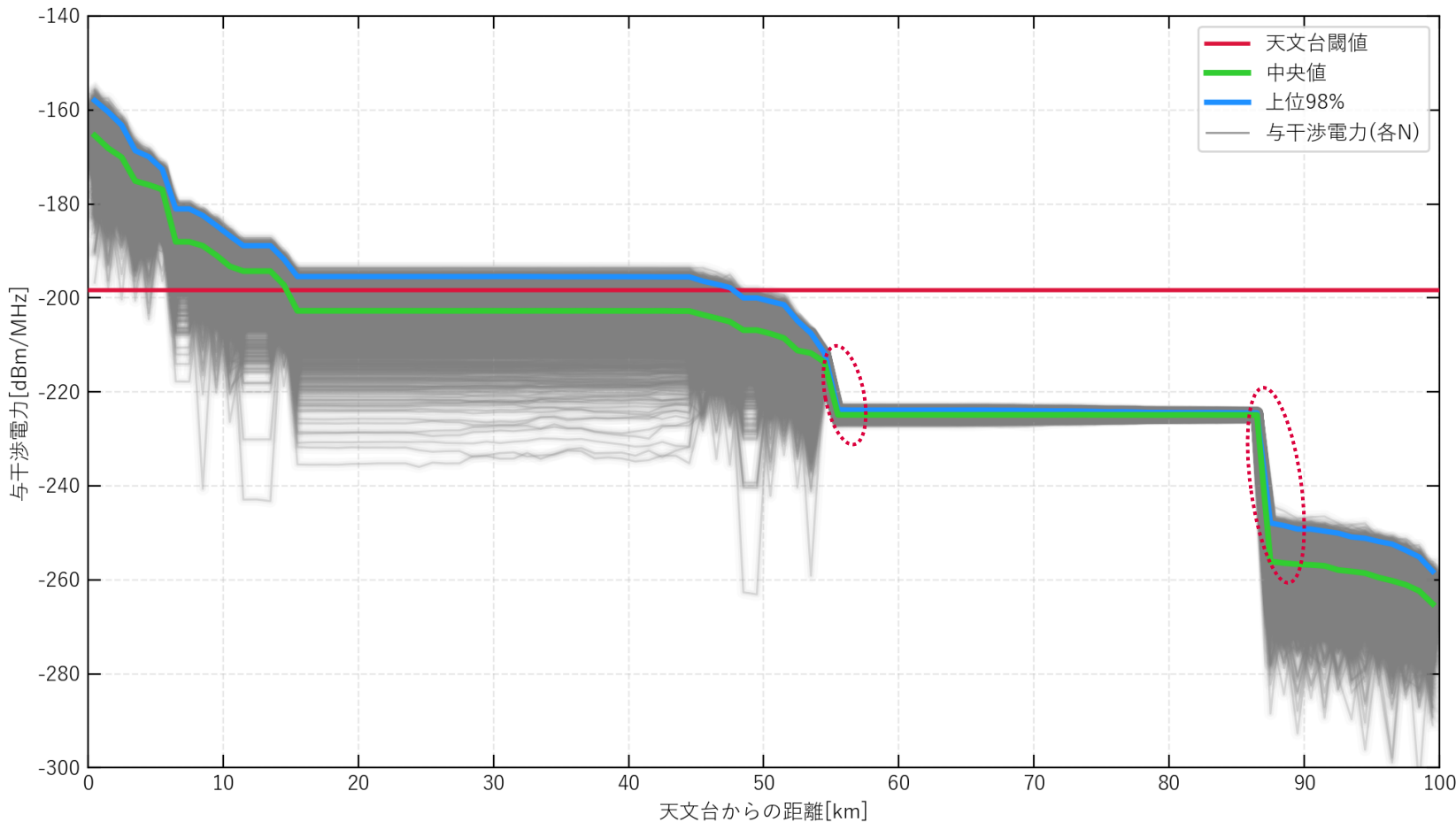
資料6-2

普及率100%、規制上限値の場合、離隔距離は中央値で14.5km、98%値で47.5km

- 距離減衰によって遠方から受信設備に近づくにつれゆるやかに与干渉電力が増加するが、54kmと85km地点に地形による遮蔽のないメッシュが存在し、スポット的に与干渉電力が増加

パラメータ	値
空中線電力	30dBm
普及率	100%

30dBm100%



天文台閾値
N1500中央値
上位98%値
各N値

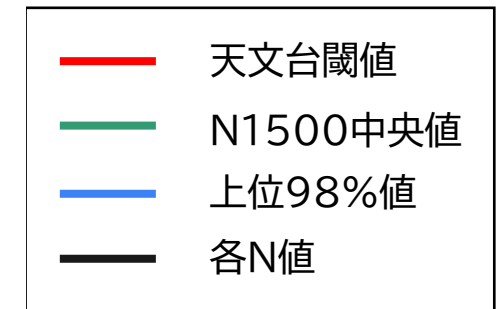
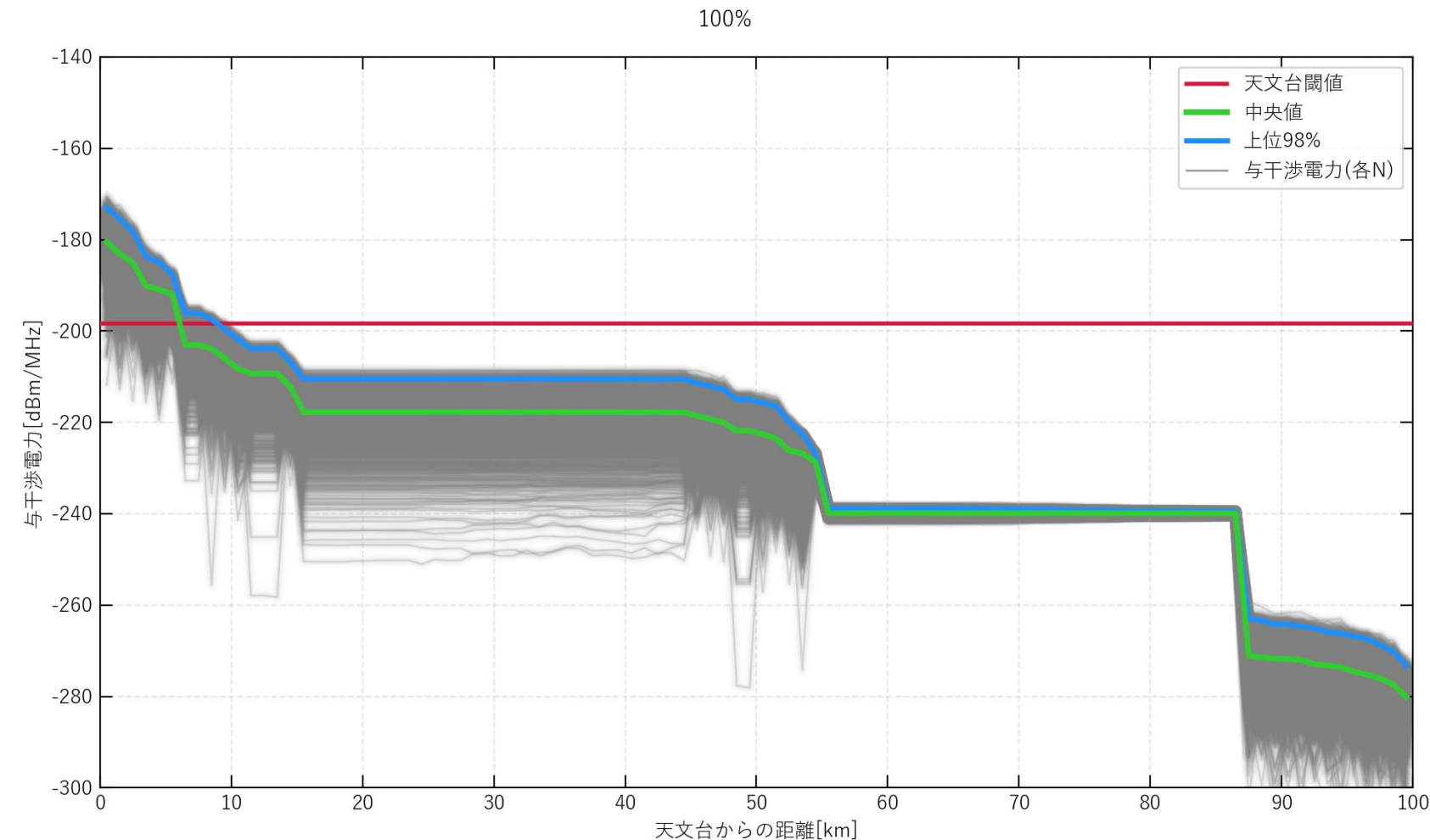
シミュレーション結果_野辺山観測所与干渉

[普及率100%、物理的上限值(15dBm)にて出力]

資料6-2

離隔距離は中央値で5.5km、98%値で8.5km

パラメータ	値
空中線電力	15dBm
普及率	100%

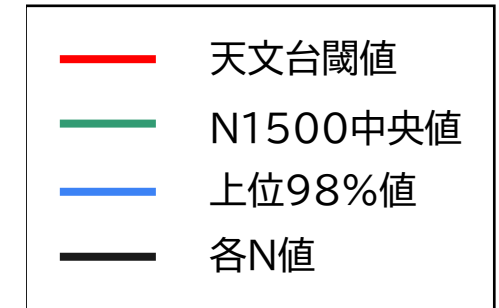
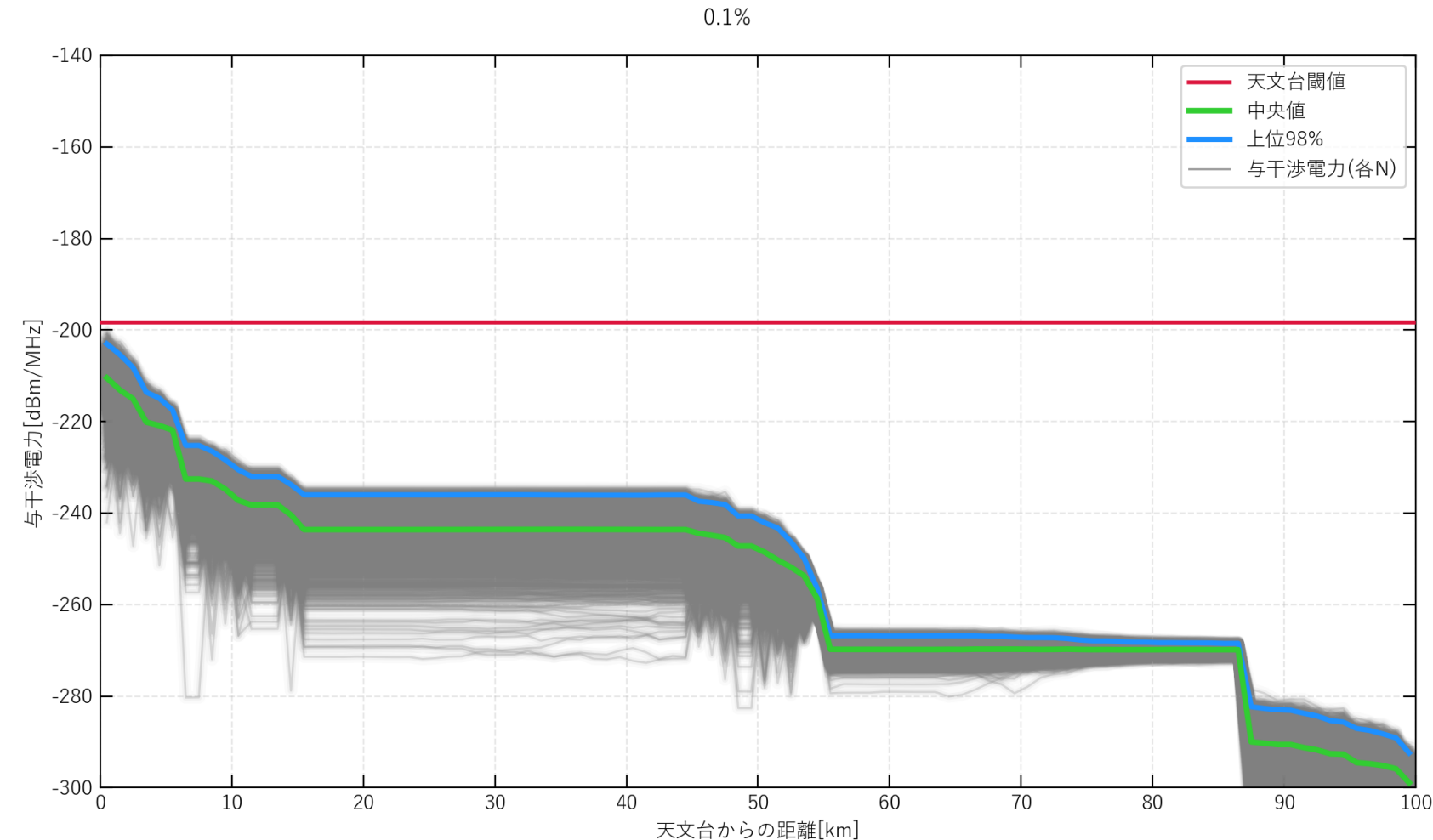


シミュレーション結果_野辺山観測所与干渉 [2031年、物理的上限值(15dBm)にて出力]

資料6-2

2031年想定(普及率0.1%)、物理的上限值の場合、
中央値、98%値ともに離隔距離は0km

パラメータ	値
空中線電力	15dBm
普及率	0.1%

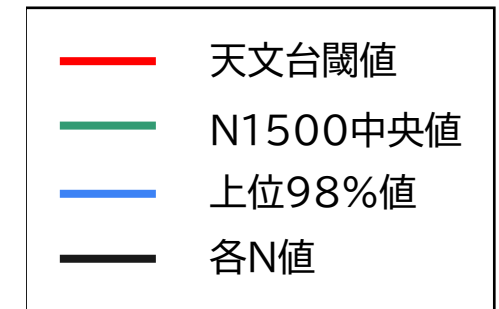
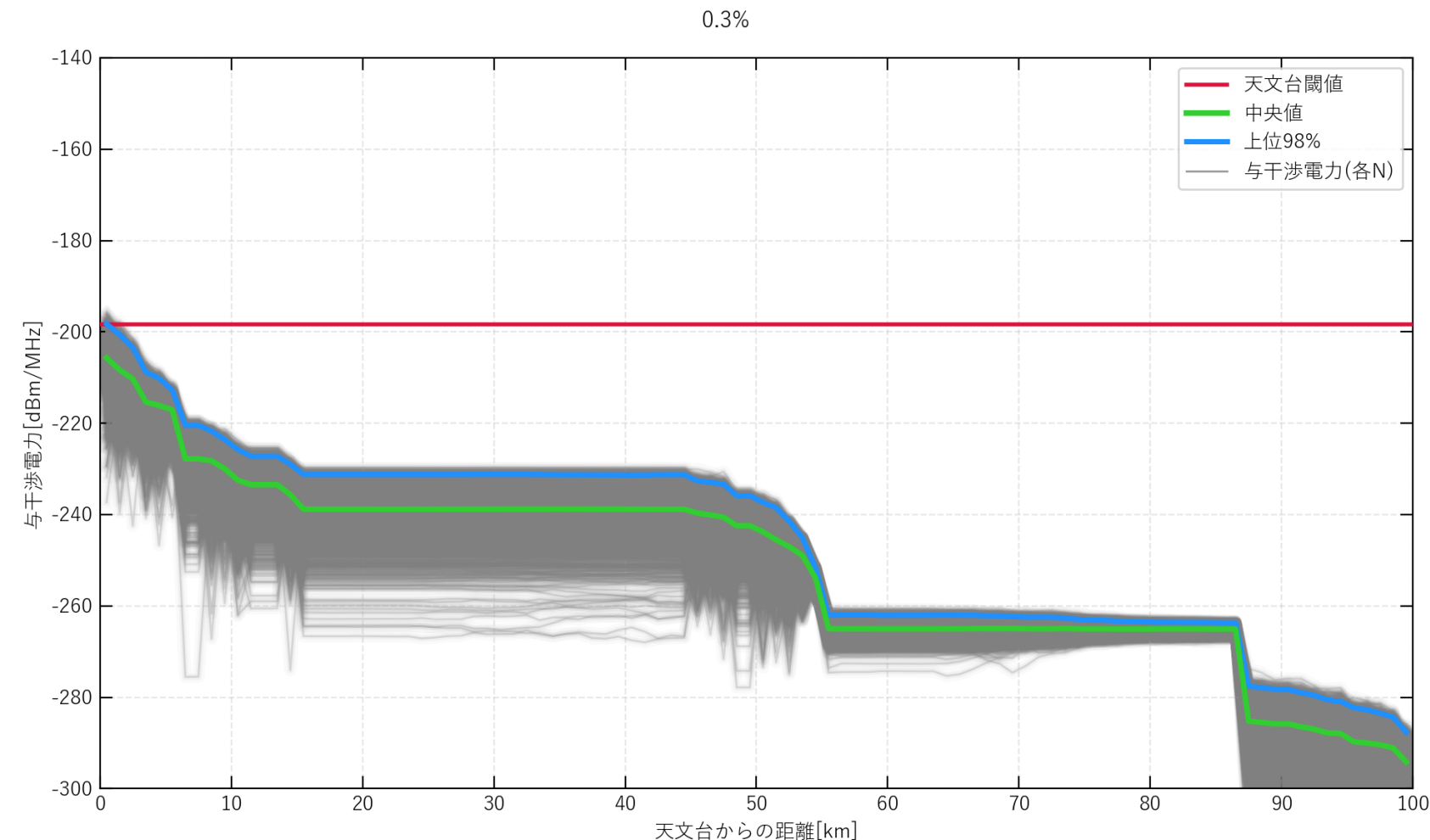


シミュレーション結果_野辺山観測所与干渉 [2032年、物理的上限值(15dBm)にて出力]

資料6-2

2032年想定(普及率0.3%)、物理的上限值の場合、
離隔距離は中央値では0km、98%値では0.5km

パラメータ	値
空中線電力	15dBm
普及率	0.3%



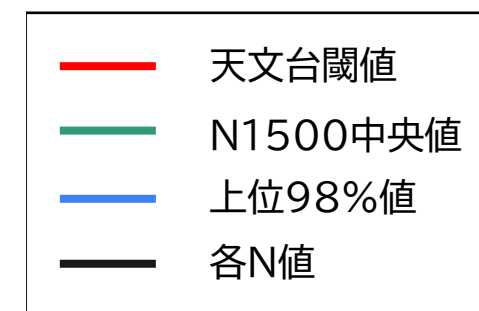
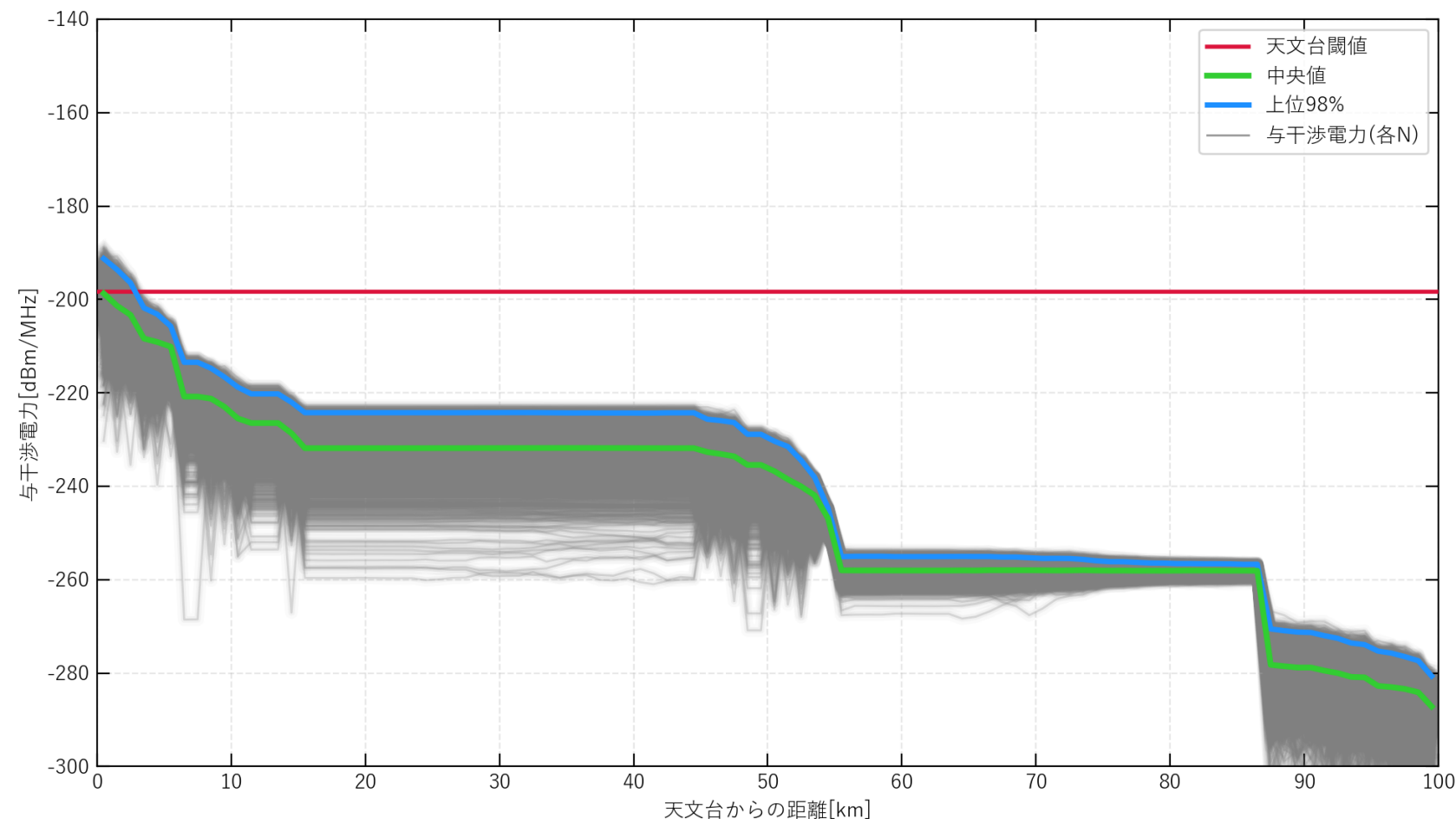
シミュレーション結果_野辺山観測所与干渉 [2036年、物理的上限值(15dBm)にて出力]

資料6-2

2036年想定(普及率1.5%)、物理的上限值の場合、
離隔距離は中央値では0.5km、98%値では3.5km

パラメータ	値
空中線電力	15dBm
普及率	1.5%

1.5%



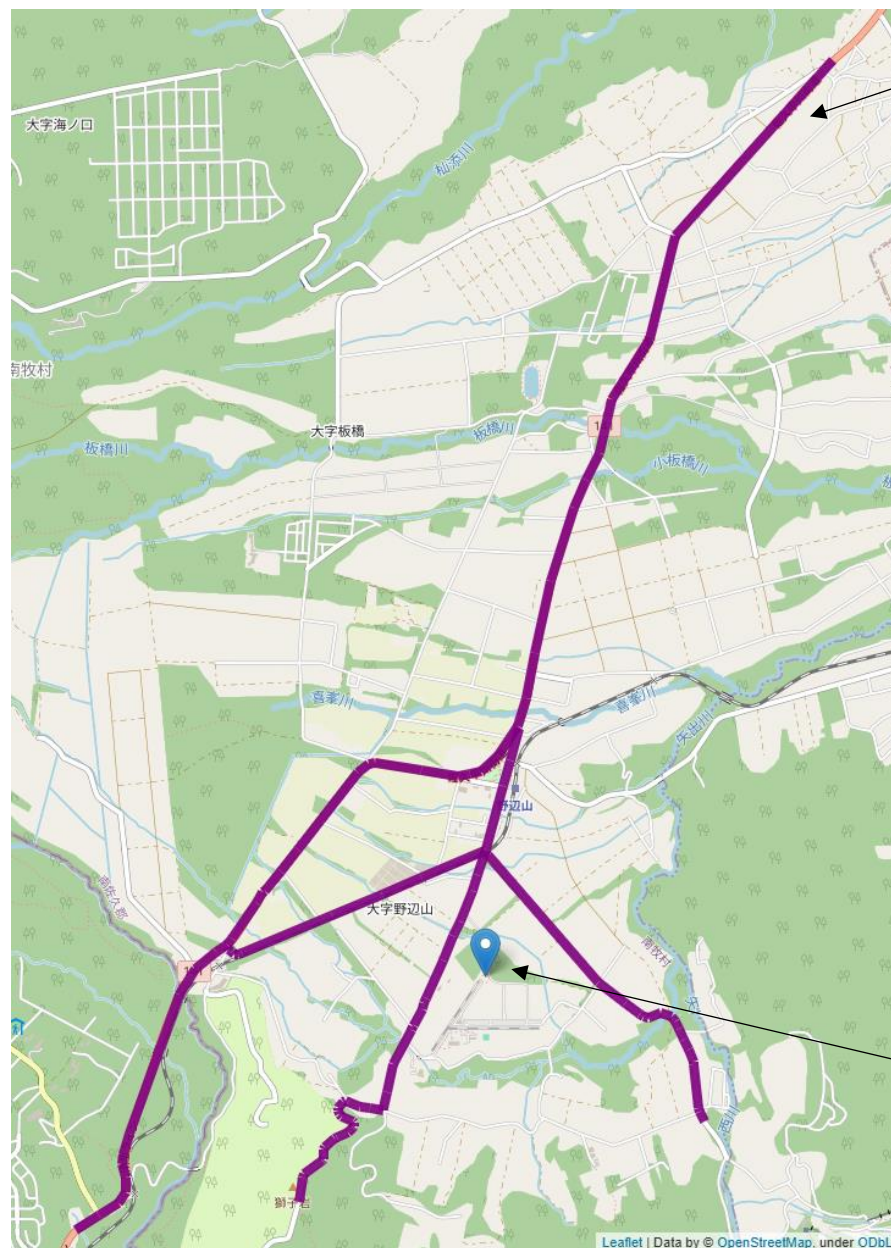
共用検討結果

共用検討結果

- 以上のシミュレーション結果より、
2032年になるまでは電波天文業務への影響はないものと考えられる。

(参考)送信側の条件

交通量モデルの対象道路



国道141号線北東部

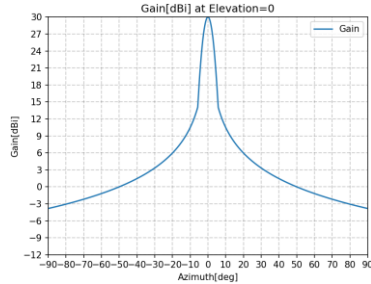
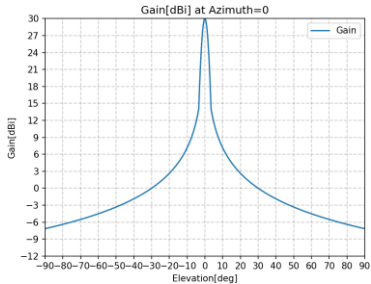
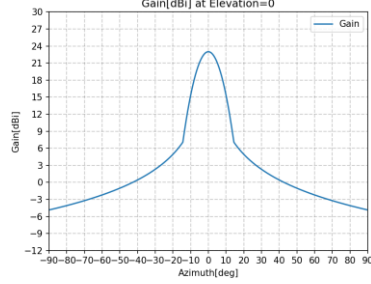
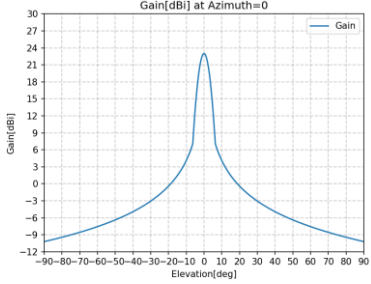
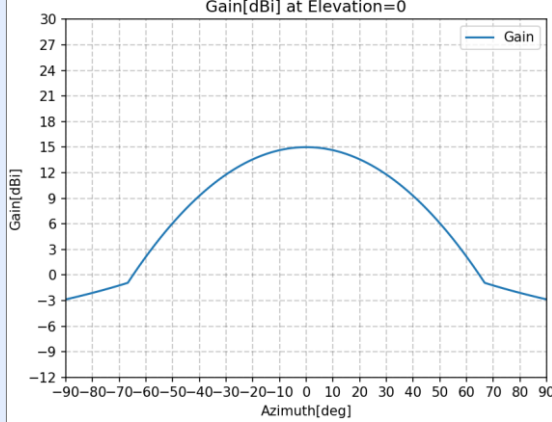
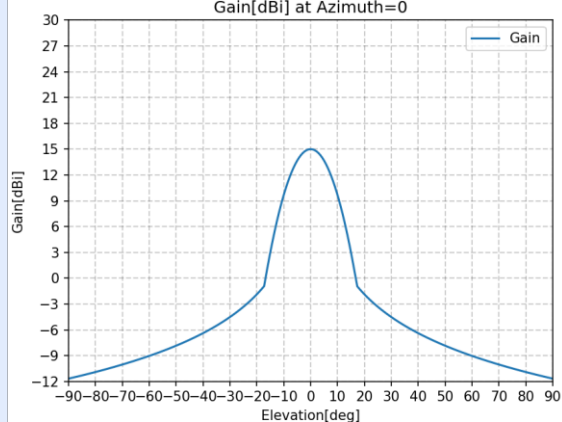
交通量モデルを適用した道路は、国道141号線、野辺山平沢線、村道5031号線、丸山三沢線の4つの道路である。

そのうち国道141号線の北東部のみ、見通しがあるため受信設備から半径6km地点までを対象とし、その他の道路については受信設備から半径3km地点までを対象とした。

受信設備

交通量モデル レーダーアンテナパターン(1台)

- ITU-R 勧告M.2057-1、FCC公開事例を参考に、車両への搭載が想定される3種のアンテナパターンを以下に示す。
- この中で、EIRPで性能が規定された場合に利用が想定されるレーダータイプは照射角をさらに広げたレーダータイプ(下表ブロードタイプ)と考えられるため、本共用検討においてはブロードタイプを用いた。

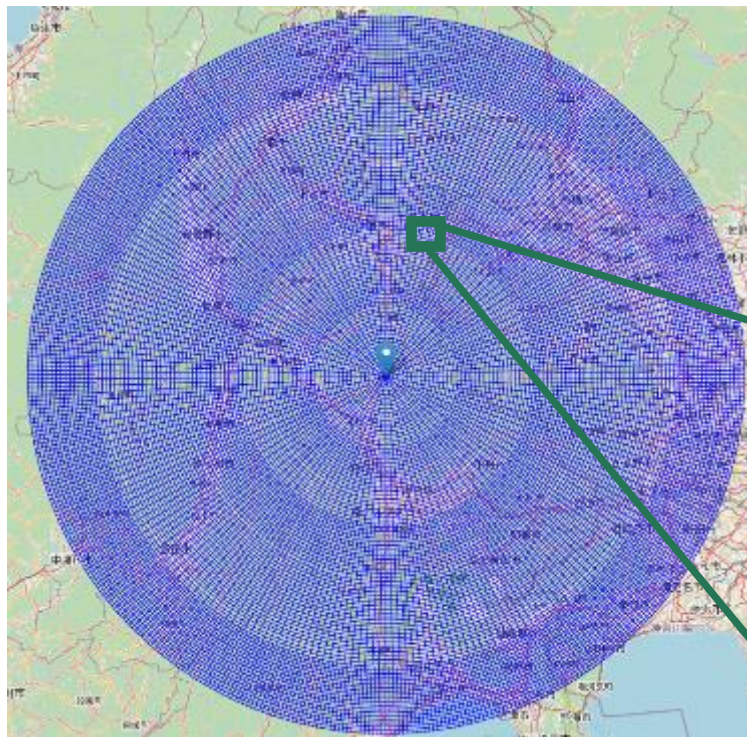
名称	参照出所	レーダーの特徴	方位角	仰角
Aタイプ	ITU-R勧告 M.2057-1タイプA を参照	レーダー前方を中心として 遠距離へのレーダー 照射を想定したレーダー タイプ		
Bタイプ	ITU-R勧告 M.2057-1タイプB を参照	レーダーの方位角を左 右に広げ広範囲の検知 を想定したレーダータイ プ		
ブロード タイプ	FCC公開事例を参考に 本タスクチームにて検討 したパターン	照射角をさらに広げた レーダータイプ ※EIRPで性能が規定さ れた場合に、利用が想定 されるもの		

車両密度モデルのメッシュ分割方式

誤差を考慮しメッシュを十分小さな面積となるように極座標での距離、角度の分割能を下表に示す。

距離分解能は1,000m単位とし、角度分解能は円周部の長さが1,000mを超えた場合に角度分解能を高めるという手法でメッシュ分割を行った。角度分解能はソフトウェアの制約から2のべき乗で設定した。

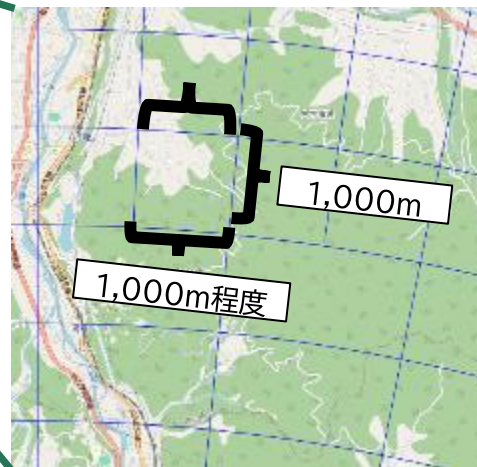
メッシュ分割方法(リング状メッシュ)



Map data from OpenStreetMap

中心からの距離x	距離分解能	角度分解能	円周部の長さ
<5km	1,000m	16分割=22.5度	1,000m以下
$5 \leq x < 10$ km	1,000m	32分割=11.25度	
$10 \leq x < 20$ km	1,000m	64分割=5.6度	
$20 \leq x < 41$ km	1,000m	128分割=2.8度	
$41 \leq x < 81$ km	1,000m	256分割=1.4度	
81km超	1,000m	512分割=0.7度	

メッシュの拡大図



車両密度モデルのメッシュ内車両台数の計算手法

● メッシュ内車両台数の算出方法

- ・ 与干渉量の算出に当たって、メッシュ内で新型レーダーを搭載した車両が何台稼働しているかが必要となる。そこで以下の計算式を用いて算出を行った。
- ・ メッシュ内の新型レーダー搭載車両台数 =
各市区町村の有効面積当たりの車両保有台数 × 新形レーダー普及率 × メッシュ面積 × 稼働率
- ・ ここでの稼働率は自動車が走行している時間の割合とし、統計情報による平均の走行距離、走行速度より算出。
 - ・ 統計値の集計単位は都道府県別のため、県別で算出した。
 - ・ 平均旅行速度は昼間12時間の集計値のため、昼間12時間における稼働率を適用する。

$$\text{稼働率} = [\text{1台が昼間走行する時間}] \div 12\text{時間}$$

1台が昼間走行する時間

$$= [\text{平均走行距離}] \div [\text{平均走行速度}]$$

平均走行距離(1台・昼間)

$$= [\text{平均走行距離(1台・1日あたり)}] \times [\text{昼間の走行割合}]$$

平均走行速度(昼間)

$$= [\text{当該県の昼間12時間平均旅行速度}]$$

平均走行距離(1台・1日あたり)

$$= [\text{当該県の年間走行キロ}] \div 365\text{日} \div [\text{当該県の自動車保有台数}]$$

昼間の走行割合

$$= [\text{当該県の昼間12時間平均交通量}] \div [\text{当該県の24時間平均交通量}]$$

都道府県別・時間帯別の稼働率

都道府県	昼	24時間	夜	都道府県	昼	24時間	夜
栃木県	6.4%	4.3%	2.2%	富山県	2.5%	1.7%	0.8%
群馬県	7.0%	4.6%	2.3%	山梨県	3.8%	2.5%	1.2%
埼玉県	7.7%	5.5%	3.3%	長野県	3.6%	2.4%	1.2%
東京都	6.3%	4.4%	2.5%	岐阜県	6.7%	4.5%	2.2%
神奈川県	5.4%	3.9%	2.5%	静岡県	5.9%	4.3%	2.8%
新潟県	3.1%	2.0%	1.0%				

新型レーダーの普及率

● 新型レーダー搭載車の普及率について下記の条件設定に基づき予測

- 新車の販売台数、全保有台数
 - ・新車の販売台数は将来的にも2024年と同じでグレード別の台数も同様※1
 - ・全体の車両保有台数は将来的にも2024年と同じ(新車販売台数と同数が廃車)
 - ・全国の傾向と大きくは変わらないものの、地域性を加味するため、長野県、山梨県における実績値を利用
- グレード別の普及の進み方
 - ・制度化後に普通車上位グレード(④)の次期モデルとして開発が開始される車両に搭載され、各車のフルモデルチェンジに合わせて順次市場に投入
 - ・普通車上位グレードの普及が進む中で下位グレード(③)において市場に投入
 - ・その後、小型自動車(④)、軽自動車(①)にも搭載されて市場に投入
 - ・ただし、上位グレードの輸入車については、欧米等で類似仕様のレーダーが既に搭載されていることも多いことから、必要な評価・改良が終了後にマイナーチェンジに合わせて早期に市場に投入

● 予測結果

[表:青枠]:各グレード別の各年の新規販売車両※2のうち、新型レーダーを搭載する車両数と割合

[表:黄色]:累計の販売台数(新型レーダー搭載済み)

[表:赤枠]:自動車保有台数※3に占める新型レーダー搭載車の普及率

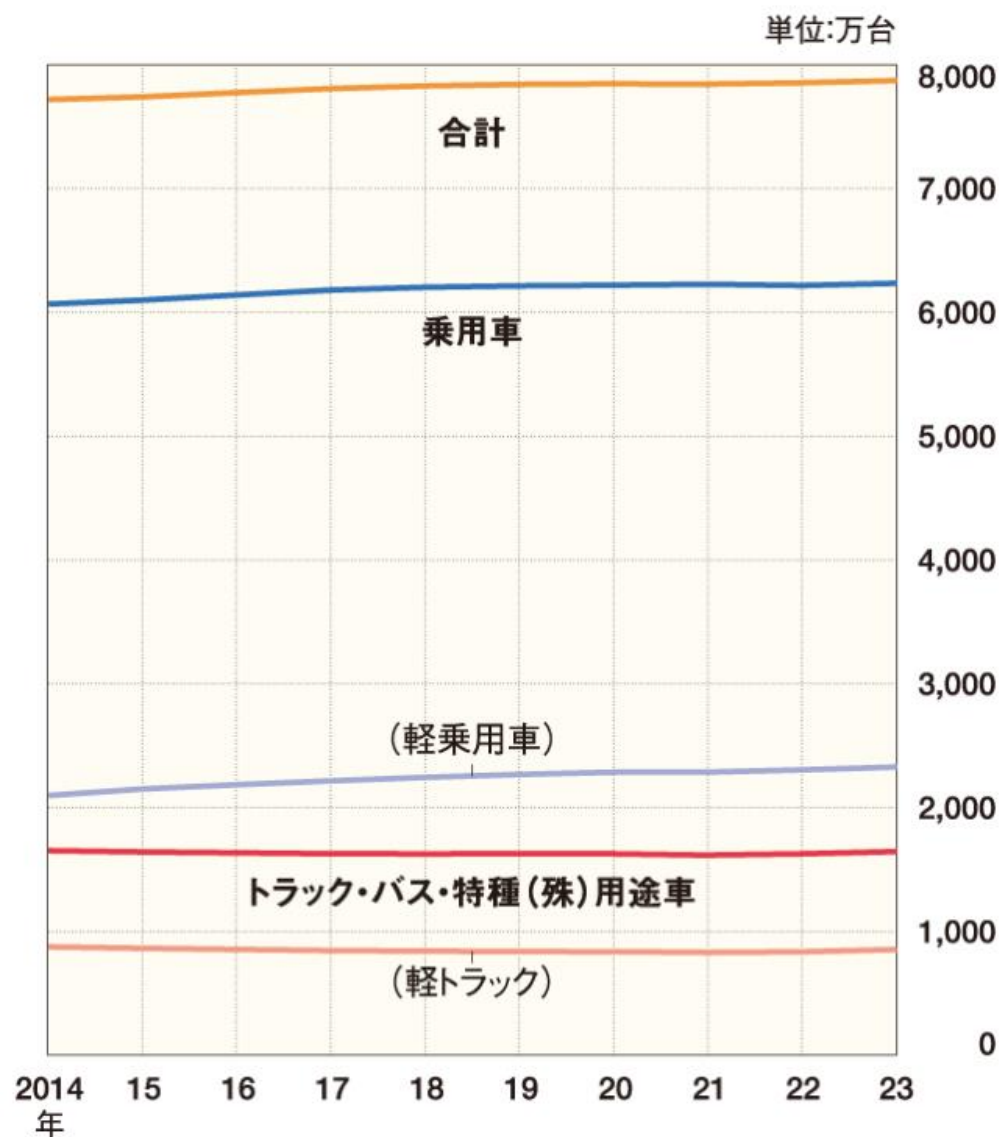
		想定年間新規販売車両 (千台)※1	上段:新規販売車両数(新型レーダー搭載済み)の予測結果(千台) 下段:うち新型レーダー搭載車の比率(%)							
			2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	2036年	2037年
① 軽自動車 (軽乗用車・軽貨物)		55.03							1.65 (3%)	2.75 (5%)
② 小型自動車 (小型乗用車・小型貨物)		23.74							1.42 (6%)	1.66 (7%)
普通自動車 (普通乗用車・普通貨物)	③ 下記ハイグレード④⑤を除く普通自動車	34.42						1.72 (5%)	4.13 (12%)	6.88 (20%)
	④ ハイグレード国産車 例:レクサス・アルファード・ヴェルファイア・クラウン・プリウス・アリア・アコード	8.03		0.24 (3%)	0.40 (5%)	0.80 (10%)	1.61 (20%)	3.21 (40%)	6.83 (85%)	8.03 (100%)
	⑤ ハイグレード輸入車 例:BMW・メルセデスベンツ	2.44	1.46 (60%)	1.95 (80%)	2.44 (100%)	2.44 (100%)	2.44 (100%)	2.44 (100%)	2.44 (100%)	2.44 (100%)
年間販売台数(新型レーダー搭載済み) 合計 (千台)			1.46	2.19	2.84	3.24	4.05	7.37	16.47	21.77
累計販売台数(新型レーダー搭載済み) (千台)			1.46	3.65	6.49	9.74	13.78	21.15	37.63	59.40
新型レーダー搭載車の普及率 (%)			0.1%	0.1%	0.3%	0.4%	0.5%	0.8%	1.5%	2.3%

※1 次頁の参考資料のとおり、自動車保有台数が一定であることから新規販売車両数も一定であると仮定

※2 長野県・山梨県における年間新車販売台数および日本の新車販売台数の車種別構成比(2024年)を基に算出

※3 長野県・山梨県における四輪車の自動車保有台数の合計値2,590千台(2025年)を基に算出

【参考】自動車保有台数の推移について



自動車保有台数の推移(四輪車)

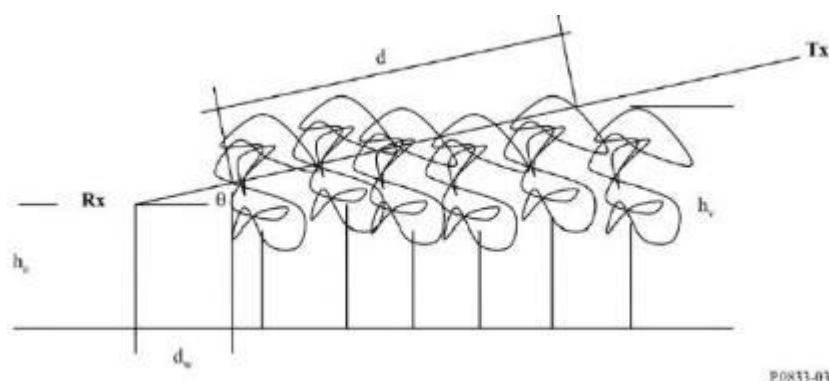
- 日本における四輪車の自動車保有台数は2014年以降微増しているものの、伸び率は鈍化傾向にある。
- 新型レーダーの普及率における検討では、上記傾向を考慮し、以下の数値が前年を維持するものと仮定して普及率の試算を実施。
 - 自動車保有台数
 - 年間の新規販売車両数

(参考)電波伝搬減衰

植生損失① 冬季植生損失の利用モデル

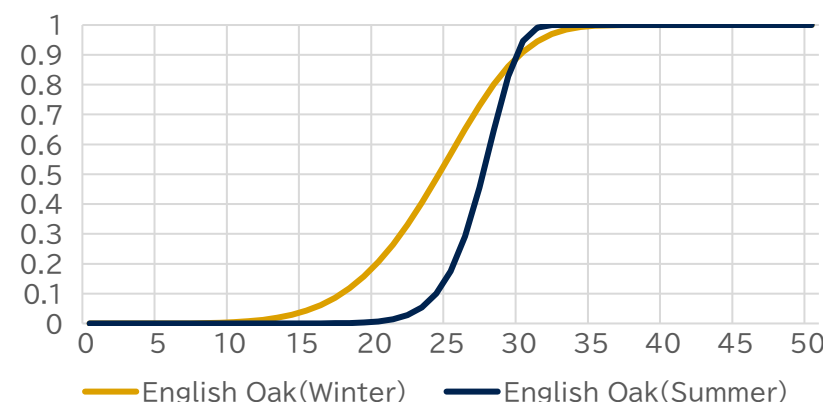
- ITU-R P.833-10では冬季植生による損失モデルとして、2.2.1節および3.2.3節で規定される2通りのモデルが定義されている。
- 植生モデルAは複数の植生の断面距離に基づく損失、植生モデルBは植生1本あたりの植生損失を定義している。植生モデルBでは森林モデルの仮定に基づき、単位距離あたりの植生の透過本数を算出し、当該透過本数に基づく損失を計上。
- 植生モデルBでは森林モデルとして国有林の森林密度(591~1,116本/ha)の森林を仮定し、単位距離あたりの損失を計上。
- 野辺山周辺における森林密度の実情については不明点が残るため、本検討においてはより算出モデルが明確であり、かつ1kmあたりの損失が少ない植生モデルである植生モデルAの損失値(1kmあたりの植生損:50dB)を採用する。

	参照規格	規格の概要	損失計上方法	1kmあたりの損失
植生モデルA	ITU-R P.833-10 2.2.1 Site specific model	複数の植生の断面距離に基づく植生損失を計上(参考図1)	植生損の算出式にて、断面距離あたりの冬季(1月)における植生損失を計上	50dB
植生モデルB	ITU-R P.833-10 3.2.3 Seasonal effects on single trees at 60.5 GHz	植生1本あたりの植生損失を計上(参考図2)	国有林の植生密度を参照モデルとして、距離当たり植生の通過本数を算出。当該通過本数を基に冬季における植生損失を計上	148dB



参考図1. 植生損失の解析モデルA

出所) ITU-R P.833-10 Figure3より抜粋



参考図2. 植生1本あたりの植生損失B

出所) ITU-R P.833-10、Table10 Attenuation through vegetation for summer and winter scenarios at 60.5 GHz の情報を基にグラフ作成

植生損失② モデルAの考え方

●【植生モデルA】複数の植生の断面距離に基づく植生損失

- 植生モデルAの算出方法である ITU-R P.833-10 (2.2.1 Site specific model)では複数の植生の断面距離に基づく植生損失の算出式[右図 式(5)]が提示されている。
- 当該算出式において、季節性を考慮した係数に Month の設定が可能であり、損失がより小さい冬季(12月・1月)の損失値を使用。
- ITU-R P.833-10では、当該損失モデルに該当する植生としてJapan cedar(杉)とKenya juniperus (ケニヤジュニパー)の2種類が定義されている。本検討では野辺山地域の植生に一番近いと考えられるJapan cedarを使用。
- 当該モデルにおける距離1kmあたりの植生損失(冬季・夏季)はそれぞれ以下の通り。

1kmあたりの植生損失

	1kmあたりの植生損失(dB)	
	Japan cedar	Kenya juniperus
冬季(12月・1月)	50	39
夏季(6月・7月)	239	191

$$L_{veg}(dB) = A f^B \log_{10}(d) (\theta + E)^G - 4 \quad (5)$$

f : frequency (MHz)

d : vegetation depth (m)

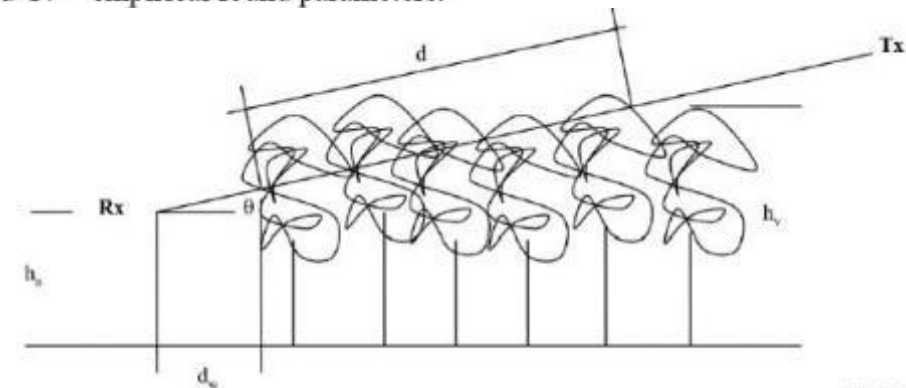
θ : elevation (degrees)

kh : $|Month - 6.5|$ (In the southern hemisphere, $kh = 6 - |Month - 6.5|$ is used instead of left formula.)

Month: month (1,2,3,...,12)

B : $(0.30281 - 0.003624kh)(f/1000)^{(0.0013118 - 0.026236kh)}$

A , E , and G : empirical found parameters.



植生損失に係る乗数

Tree type	A	E	G
Japan cedar	1.87	0.01	-0.12
Kenya juniperus	1.5	0.01	-0.12

出所) ITU-R P.833-10

植生損失③ モデルBの考え方

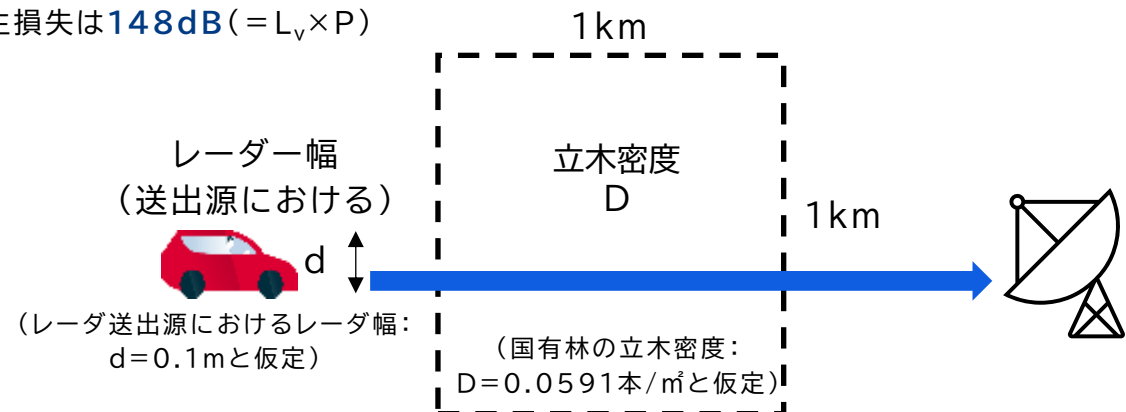
●【植生モデルB】植生1本あたりの植生損失モデル

(検討の前提条件)

- ・植生モデルBの算出方法であるITU-R P.833-10(植生による損失) 3.2.3項の「樹木の季節性を考慮した損失モデル」に基づき、冬季における単位距離当たりの植生損失を算出。
- ・レーダー送出源でのレーダー幅($d=0.1\text{m}$)より遠方への伝送時のレーダー幅が広がらないものと仮定し、植生損失のミニマム値を算出。
(実際にはレーダー幅が伝送距離に応じて広がる※1と考えられるため、実際の植生損失はより大きくなると考えられるが、本スライドでは植生損失につき、ミニマムとなる値を算出)
- ・立木密度(D)として、国有林における立木密度 591~1,116本/ha(※2)を参照し、一番密度の低い591本/ha($=0.0591\text{本}/\text{m}^2$)の条件を採用。
- ・ITU-R P.833-10掲載の植生モデルとして、野辺山天文台周辺の植生(ミズナラ:亜寒帯、亜高山帯自然植生)と一番近い植生モデルであるヨーロッパナラ(English Oak)(樹冠幅11m)の冬期モデルを参照。この場合、木一本当たりの植生損失の代表値 $L_v(=25\text{dB})$ となる。

(算出結果)

- ・上記前提に基づきレーダーの単位距離当たりの植生の平均通過本数 P を算出した場合、 P は5.91本($=D \times d \times 1000\text{m}$)
- ・上記の仮定に基づいた場合の単位距離1kmあたりの植生損失は**148dB**($=L_v \times P$)



※1 ミリ波レーダのレーダー幅は伝送距離50km時点で幅10m程度までレーダー幅が増加するものと考えられる。

※2 出所) 2019年度 森林管理局調査結果、林野庁HP、<https://www.rinya.maff.go.jp/kinki/sidou/gijyutukaihatu/attach/pdf/jissityuu-41.pdf>、2024/12/4確認

植生損失④ モデルAの参照規格(参考)

- ITU-R P.833-10 にて定義される季節性を考慮した常緑樹の植生損の算出式は右に示す通り。
- 当該モデルではJapan cedar(杉)とKenya juniperus (ケニヤジュニパー)の2種類の植生が定義されており、植生損失に係る乗数Aが異なっている。
- 季節性を考慮したJapan cedarの算出結果を以下に示す。
- 季節性を示す項 f^B の影響で夏季と冬季の植生損は最大で1kmあたり188.7dBの差分を示している。

$$L_{veg}(dB) = A f^B \log_{10}(d) (\theta + E)^G - 4$$

f : frequency (MHz)

d : vegetation depth (m)

θ : elevation (degrees)

kh : $|Month - 6.5|$ (In the southern hemisphere, $kh = 6 - |Month - 6.5|$ is used instead of left formula.)

$Month$: month (1,2,3,...,12)

B : $(0.30281 - 0.003624kh)(f/1000)^{(0.0013118 - 0.026236kh)}$

A, E , and G : empirical found parameters.

(A, E, G は植生の種別から定まる定数)



杉 (平均樹高20~22m) ジュニパー (平均樹高20~25m)

植生損失に係る乗数

Tree type	A	E	G
Japan cedar	1.87	0.01	-0.12
Kenya juniperus	1.5	0.01	-0.12

季節性を考慮した植生損算出結果 (Japan cedar)

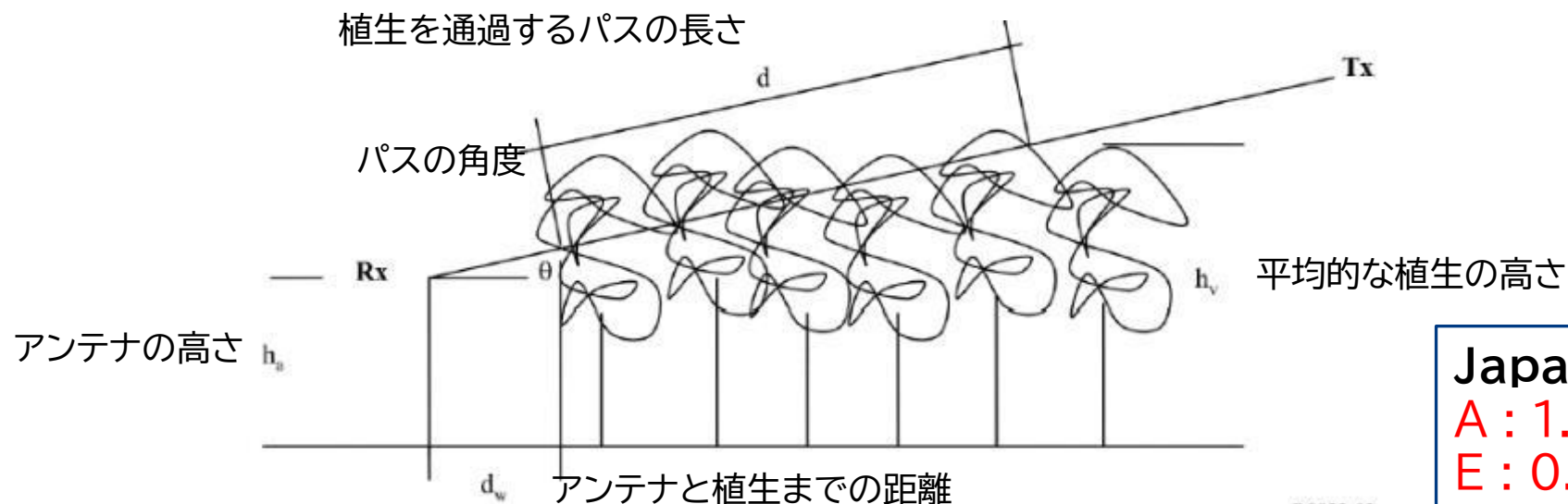
損失に係る乗数・項	月												数式
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
季節項kh(北半球)	5.5	4.5	3.5	2.5	1.5	0.5	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	$kh = Month - 6.5 $
B	0.152	0.173	0.196	0.222	0.252	0.286	0.286	0.252	0.222	0.196	0.173	0.152	$B = (0.30281 - 0.003624 * kh) * (f/1000)^{[Bの乗数項]}$
Bの乗数項	-0.143	-0.117	-0.091	-0.064	-0.038	-0.012	-0.012	-0.038	-0.064	-0.091	-0.117	-0.143	$Bの乗数項 = 0.0013118 - 0.026236 * kh$
f^B	5.54	6.97	9.05	12.17	17.02	24.88	24.88	17.02	12.17	9.05	6.97	5.54	f^B
1kmあたり損失(dB)	50.0	64.0	84.3	114.7	162.0	238.7	238.7	162.0	114.7	84.3	64.0	50.0	$L_{veg}(dB) = A f^B \log(d) (\theta + E)^G - 4$

※ $d=1km$ として算出 [$A \log_{10}(d) (\theta + E)^G (=9.75)$]

植生損失⑤ モデルAの参照規格(参考)

- ITU-R P.833-10では常緑樹(杉: Japan Cedar)の損失モデルとして下図に示す樹木複数本での損失モデルを提示している。
- 計算式では減衰損失 L_{veg} は周波数 f とパスの角度 θ 、植生を通過するパスの長さ d 、植生の種別に基づく定数(赤字にて記載)に依存するモデルとなっている。(※植生を通過するパスの長さ d はアンテナの高さ、平均的な植生の高さ等に基づき算出される値と推測)
- ITU-R P.833-10 は植生種別に基づく定数をパラメータとして考慮しているため、より精緻な解析結果が得られるモデルと考えられる。

$$L_{veg}(dB) = A f^B \log_{10}(d) (\theta + E)^G - 4 \quad A, B, E, G \text{ は植生の種別から経験的に定まる定数}$$



植生損失の解析モデル

Japan cedar

$A : 1.87$

$E : 0.01$

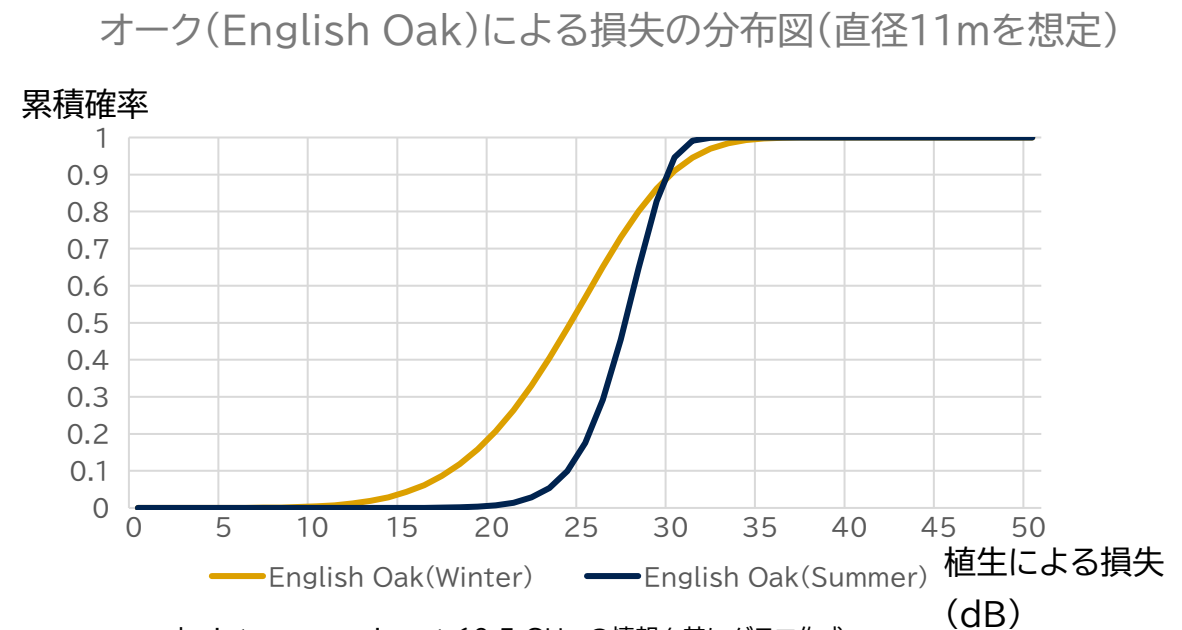
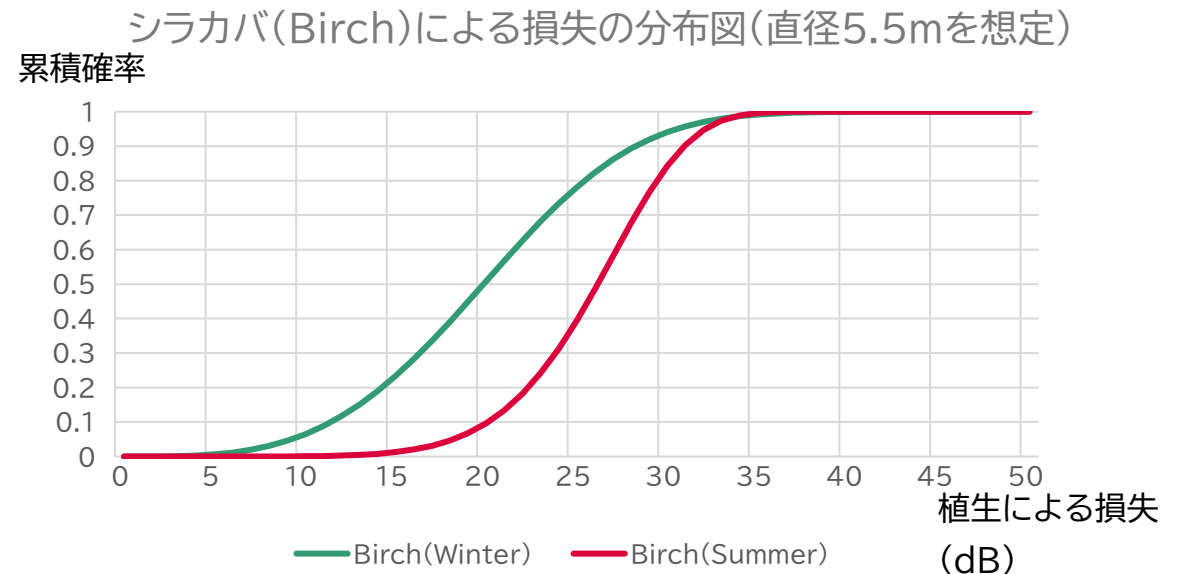
$G : -0.12$

P.0833-03

出所) ITU-R P.833-10 Figure3より抜粋

植生損失⑥ モデルBの参照規格(参考)

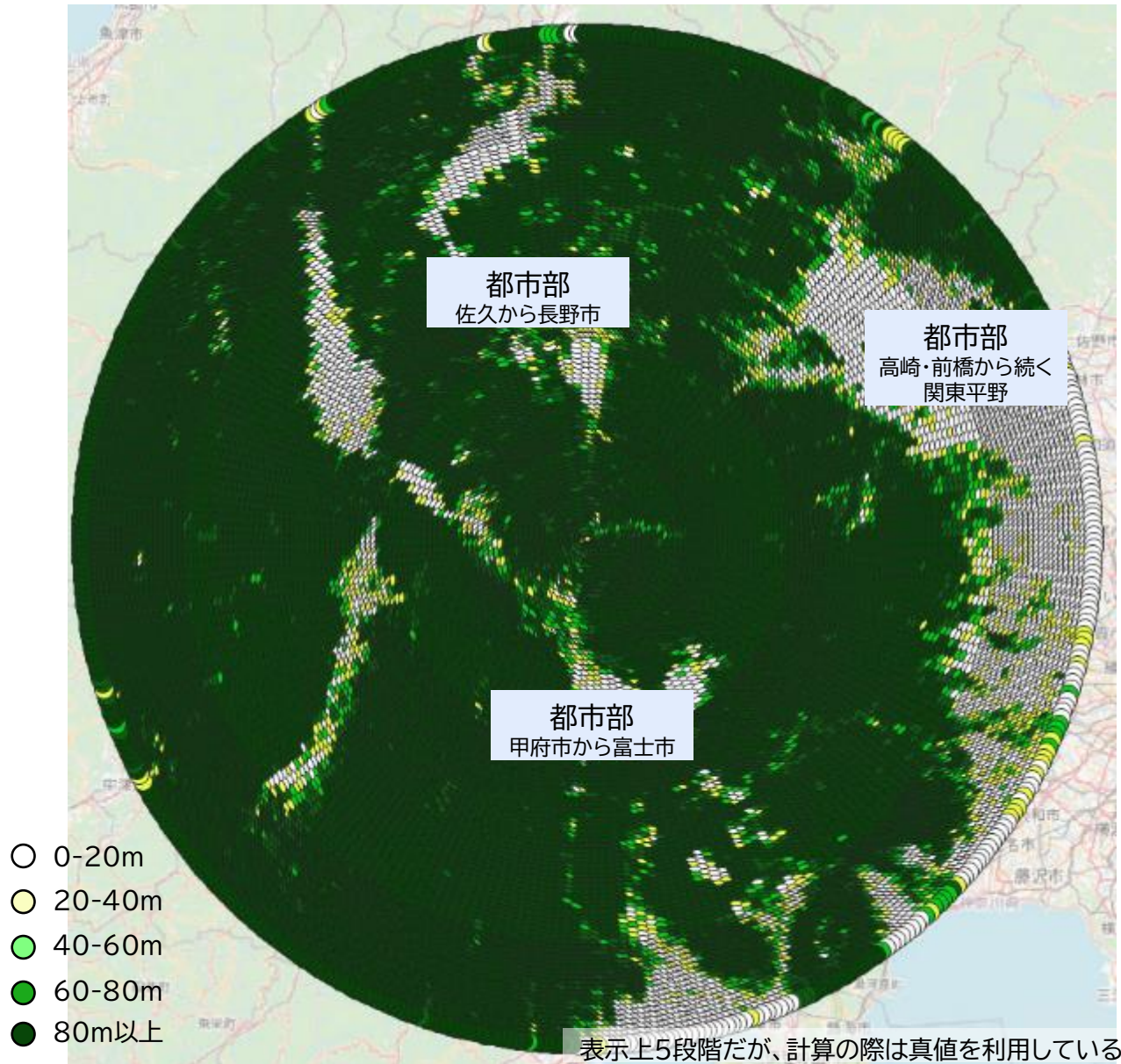
- ITU-R P.833-10では落葉樹(シラカバ、オーク: Birch, English Oak)の損失モデルとして右図に示すように、樹木1本あたりの損失の分布モデルを提示している。
- シラカバもしくはオークの冬期の損失分布モデルにおける代表値として、累積確率50%の損失値を適用する方針を検討。



出所) ITU-R P.833-10、Table10 Attenuation through vegetation for summer and winter scenarios at 60.5 GHz の情報を基にグラフ作成

植生損失⑦ 植生の分布100km内

植生深さの分布(地図上 半径100km内)

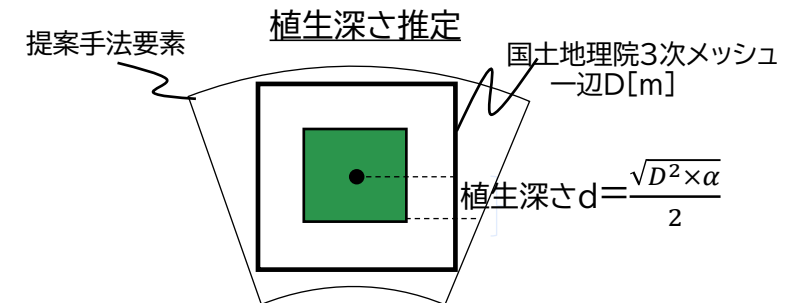
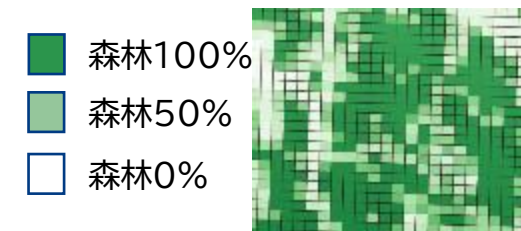


Map data from OpenStreetMap

算出の考え方(車両密度モデルのみ)

国土地理院が公表する土地利用データから、各3次メッシュの森林率 α を算出。メッシュ内に平均的に植生があると考え、以下図・モデルに従い植生深さを推定。

国土地理院データ(1マス1km²)



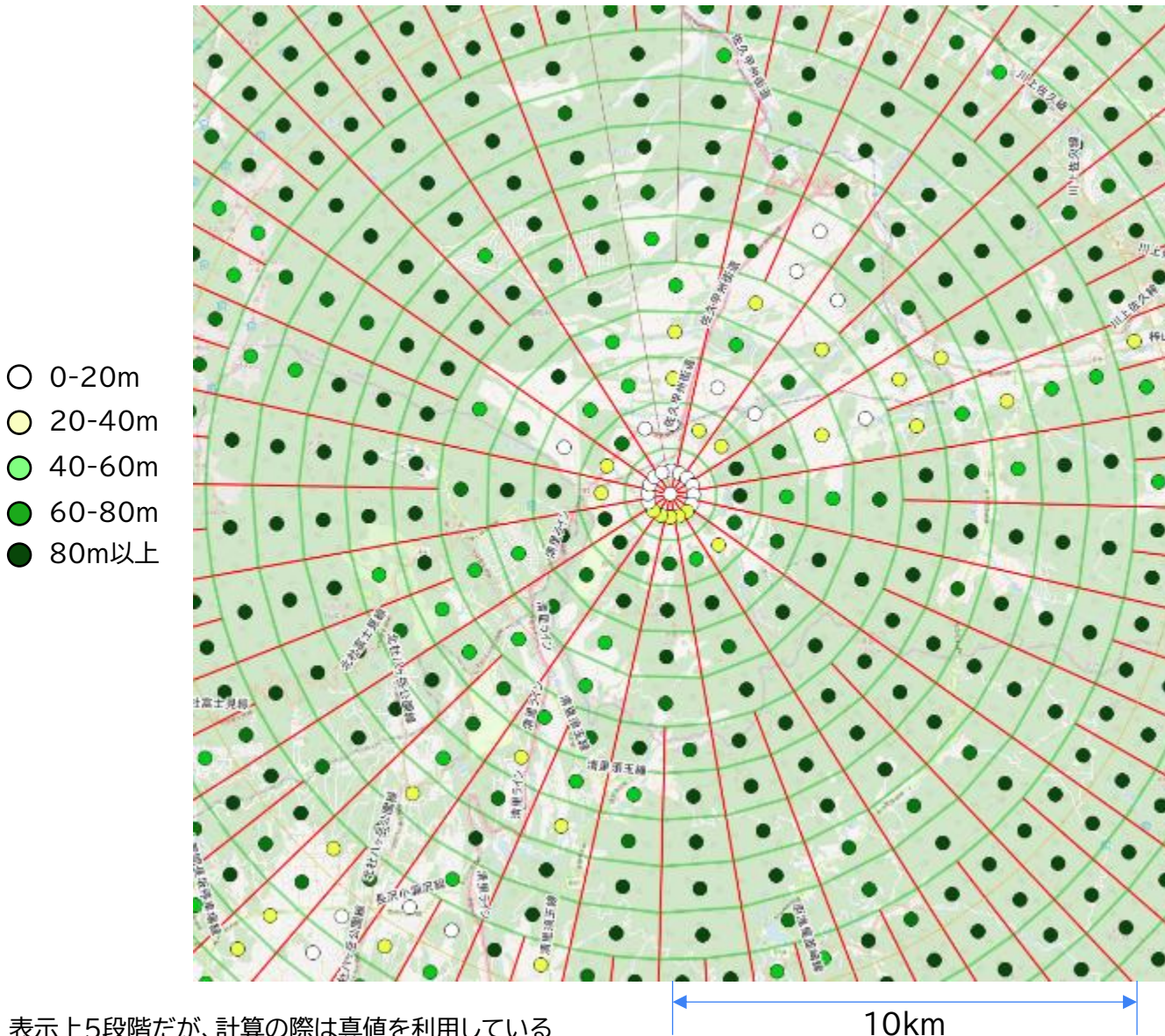
参照する植生損失

損失はITU-R P.833-10のモデルに従って、上記植生深さ、Japan Cedar、1月を前提として計算

※ P.833-10には日本の植生がJapan Cedarしかないため、Japan Cedarを利用

植生損失⑧ 植生の分布10km内

植生深さの分布(地図上 半径10km内)

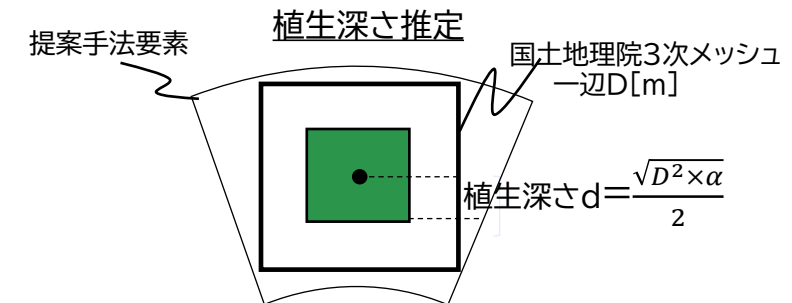
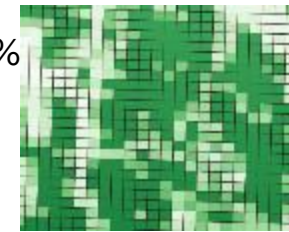


算出の考え方(車両密度モデルのみ)

国土地理院が公表する土地利用データから、各3次メッシュの森林率 α を算出。メッシュ内に平均的に植生があると考え、以下図・モデルに従い植生深さを推定。

国土地理院データ(1マス1km²)

- 森林100%
- 森林50%
- 森林0%



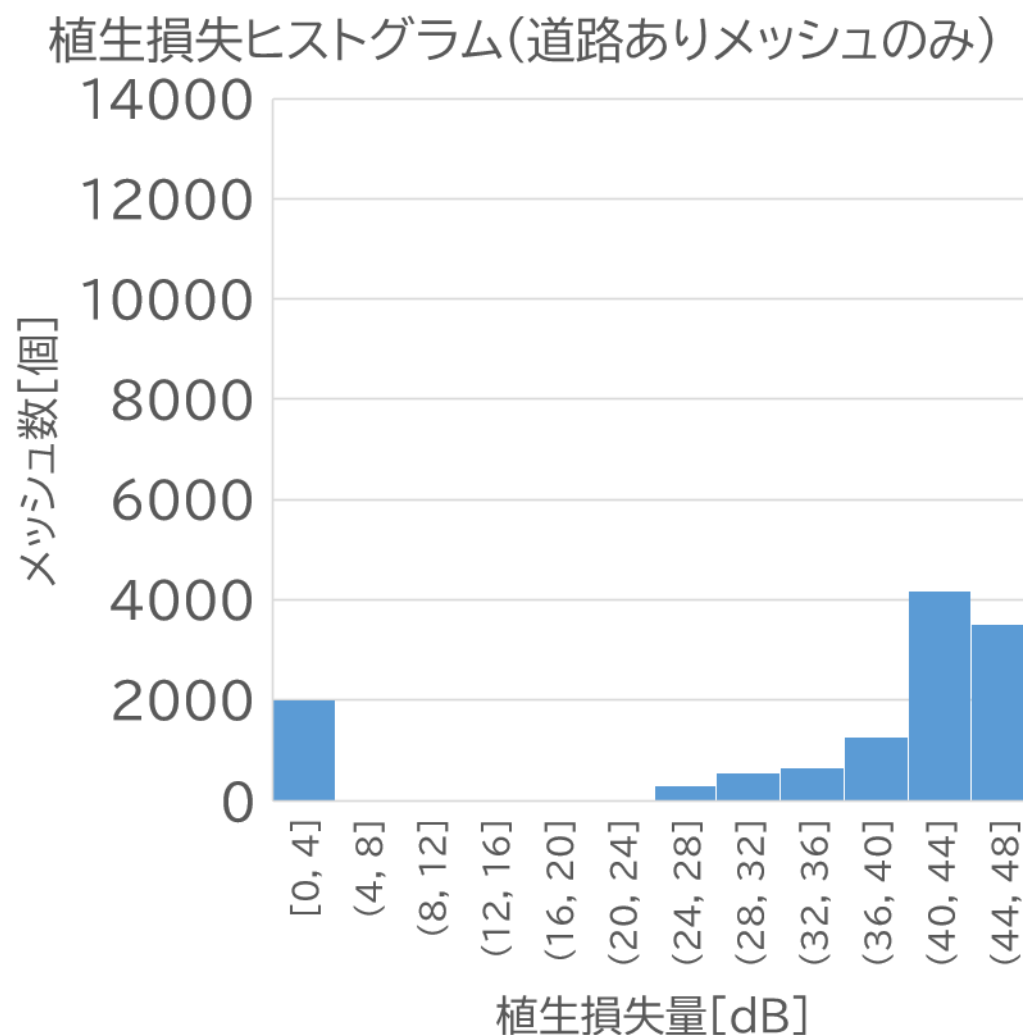
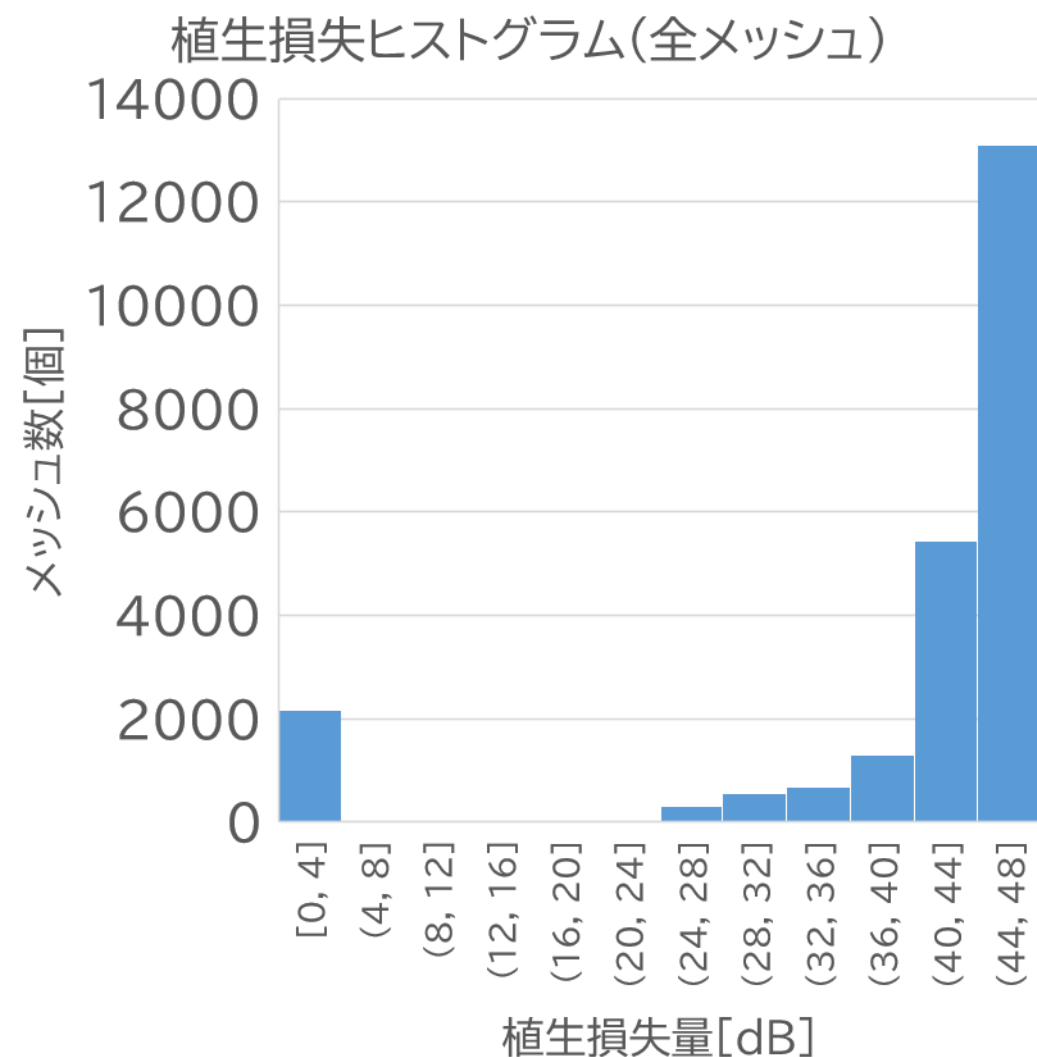
参照する植生損失

損失はITU-R P.833-10のモデルに従って、上記植生深さ、Japan Cedar、1月を前提として計算

※ P.833-10には日本の植生がJapan Cedarしかないため、Japan Cedarを利用

植生損失⑨ 植生の分布内訳

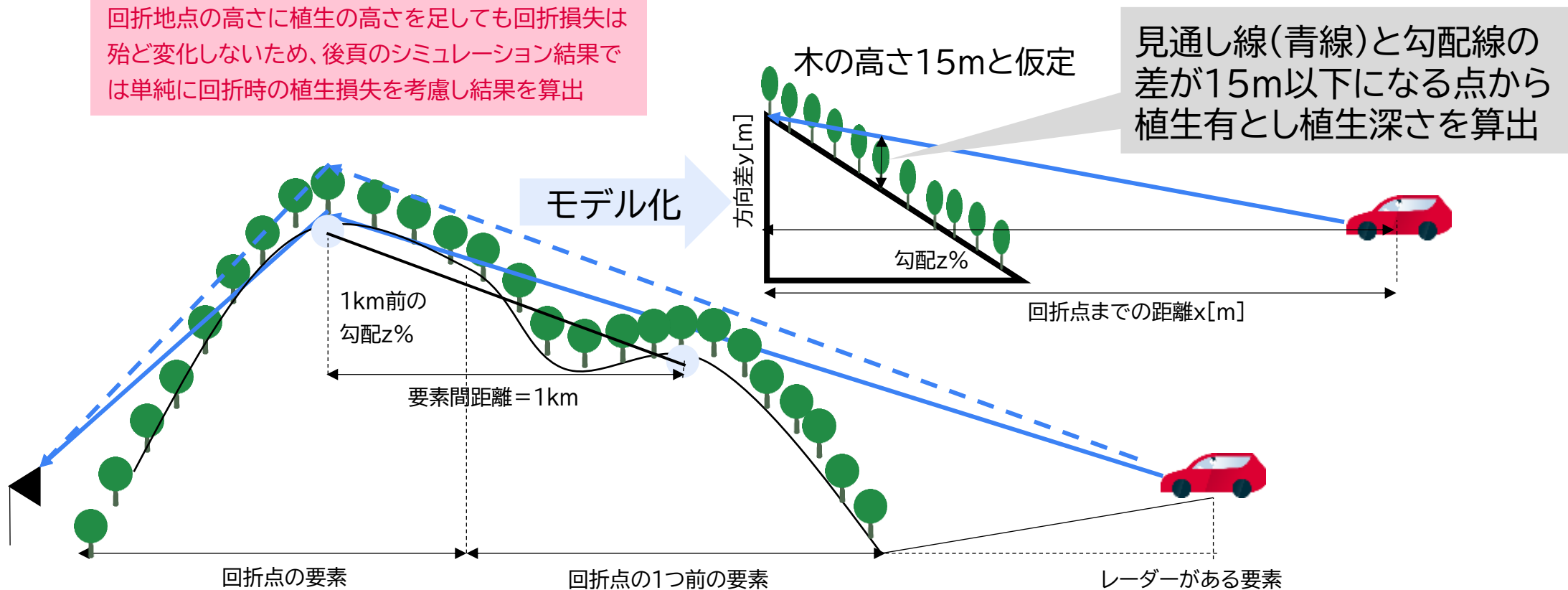
- 全メッシュ(左図)と道路ありのメッシュのみ(右図)の植生損失の値の分布を示す。
- 全メッシュ(左図)では植生損失量44～48dBのメッシュが多いものの、これらのメッシュには道路が存在しないため計算には利用していない。道路ありのメッシュ(右図)に限ると、植生損失量44～48dBのメッシュは大きく減る。



回折時の植生損失①

- 回折地点はすべて山岳部で、回折損失とともに植生損失があると想定
- 回折点の要素とその1km前の要素の標高差から勾配を算出し、勾配線と見通し線の差から植生深さを算出

回折地点の高さに植生の高さを足しても回折損失は殆ど変化しないため、後頁のシミュレーション結果では単純に回折時の植生損失を考慮し結果を算出

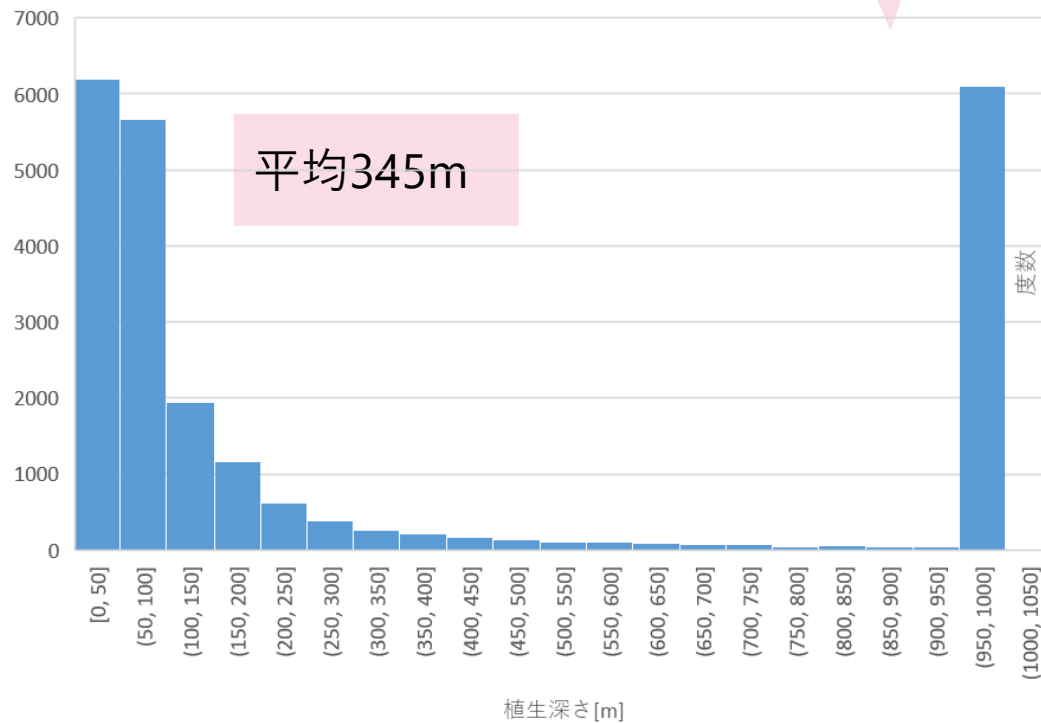


回折時の植生損失②

1000mが多いのは、1つ前の要素で回折した場合、現状のモデルだと1000m換算になるから

1000m植生
=49.95[dB]の度数が多い。

回折時の植生深さ(全要素)



回折時の植生損失(全要素)

