

# Ka帯衛星通信におけるレインセルモデル による降雨減衰と降雨強度の時間差解析

国立研究開発法人 情報通信研究機構

中澤 勇夫<sup>†</sup> 新垣吉也<sup>†</sup> 川崎 和義<sup>†</sup> 菅 智茂<sup>†</sup>

浅井 敏男<sup>†</sup> 豊嶋 守生<sup>†</sup> 高橋 卓<sup>†</sup>

E-mail: <sup>†</sup>{i.nakazawa, arakaki, k.kawasaki, kan, asai.toshio, morio, takashi}@nict.go.jp

## 発表の内容

---

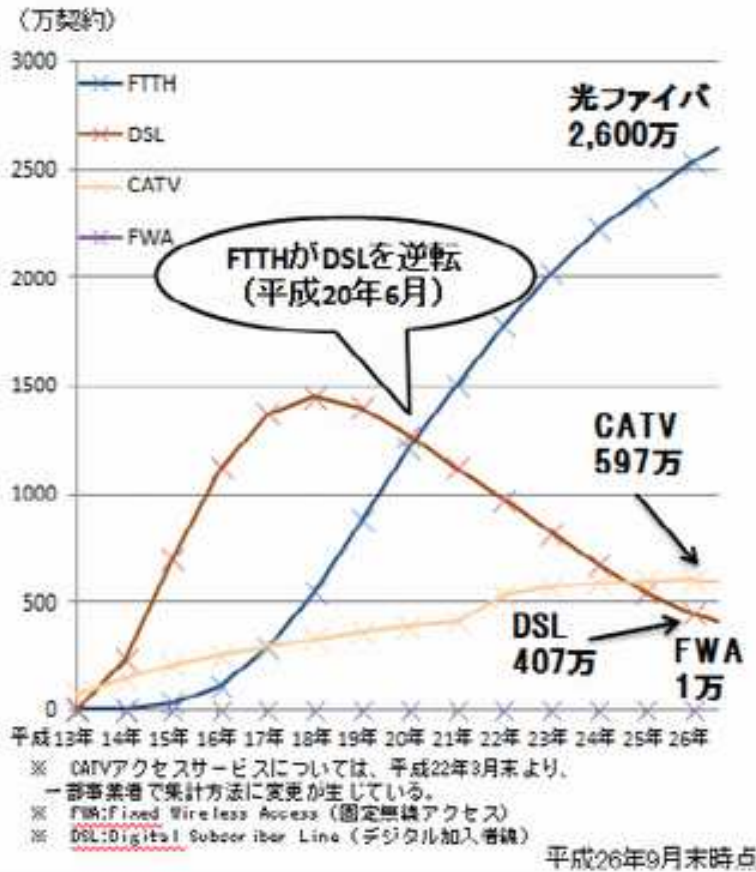
- ・ 研究の背景
- ・ Ka 帯受信レベル変動及び降雨強度の測定系
- ・ レインセルモデルの基本概念
- ・ レインセルモデルの適用例
- ・ まとめ

## 研究の背景(情報の爆発)

Machine to Machine、つまりM2Mは機器間の通信であり、人と人との通信以上に利用の要望が高まってきている。また、M2Mの通信を行うワイヤレスM2Mシステムは機器の設置および機器間の通信接続の自由度を向上させ新たなアプリケーションの実現が可能となる。また、機器の動的な配置に対しては位置認識が重要となっている。世界の携帯端末の数は現在の約60億台から2020年には120億台に達する見込みがあり、その多くはM2Mなどの分野が大半を占めると予想されている。

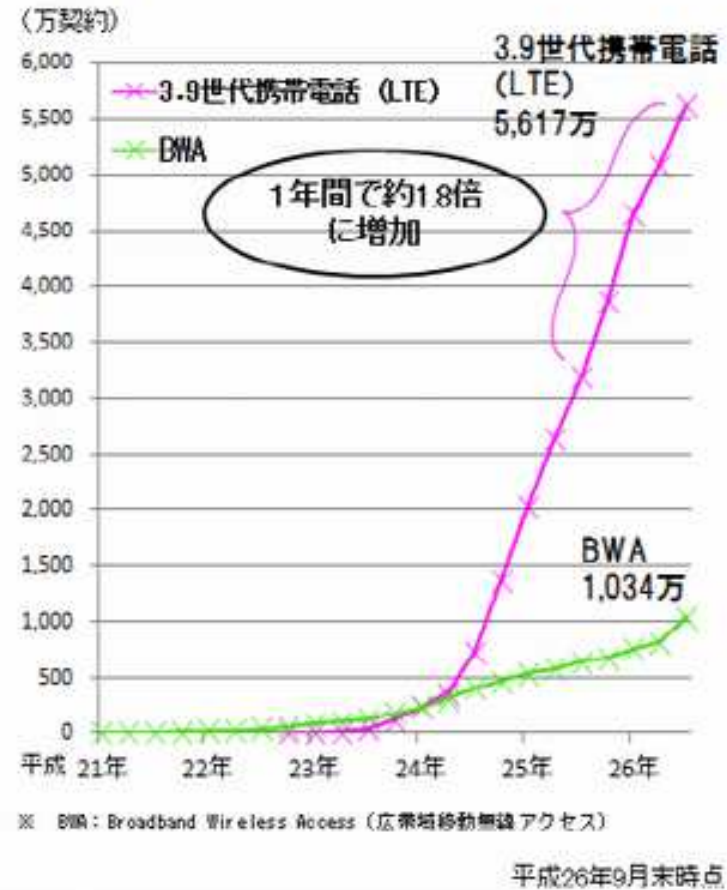
## 固定系

● FTTH(光ファイバ)は、平成20年6月にDSL契約数を超え、現在、固定系ブロードバンド全体の約3分の2を占める。



## 移動系

● 3.9世代携帯電話(LTE)アクセスサービスの契約数は、前年度比約1.8倍に増加。

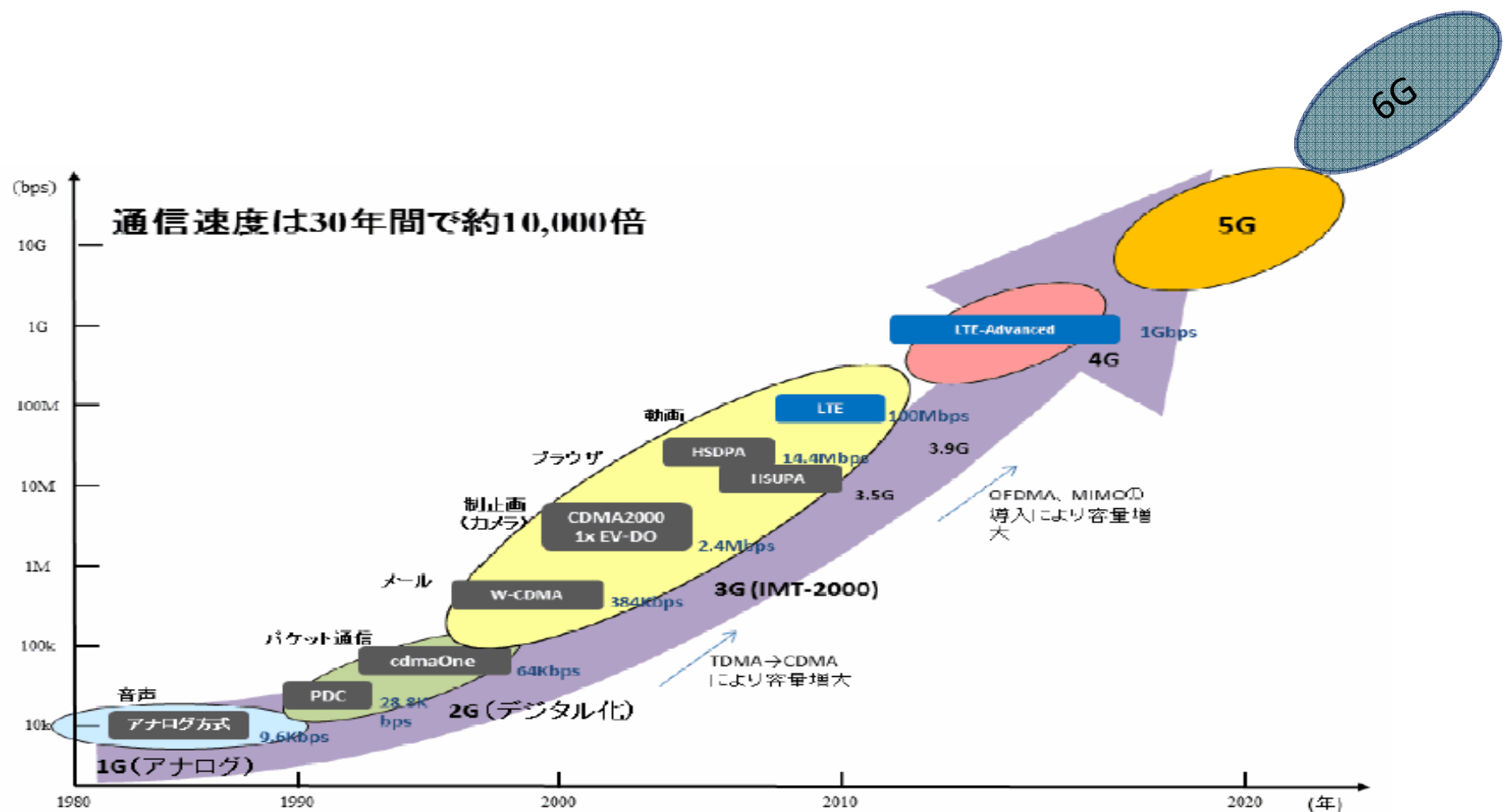


原典：総務省 世界最先端のワイヤレス立国の実現・維持に向けて

平成27年5月25日

第622回URSI-F会合 2018年3月19日NTT横須賀研究開発センター

# 研究の背景(無線伝送技術の進化)



原典: 電波政策ビジョン懇談会最終報告書 2014年12月

# 5GMFの仕様 (ARIB白書) より

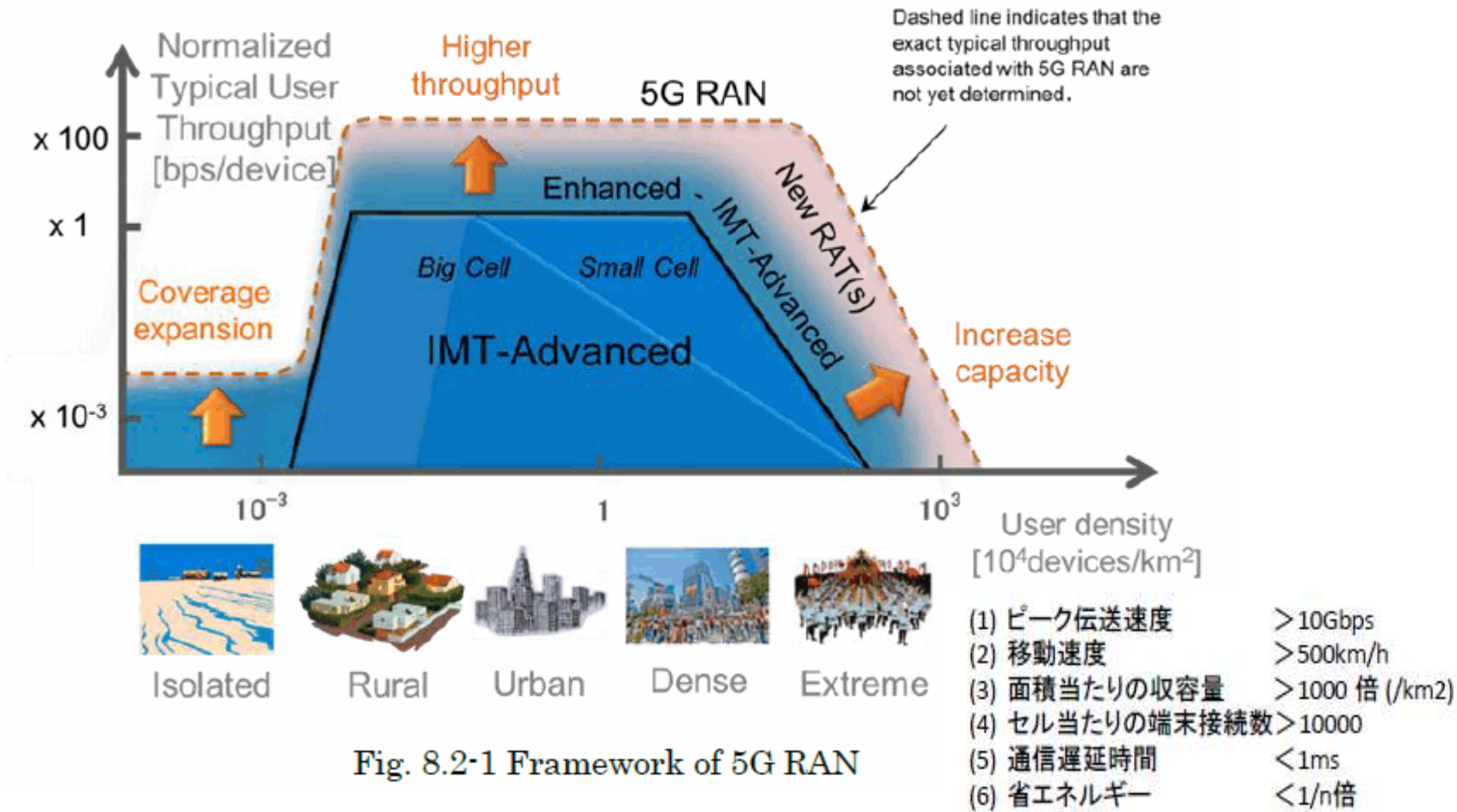


Fig. 8.2-1 Framework of 5G RAN

# 7 電波関連産業の市場規模

## (1) 次世代社会基盤としての電波利用

・世界最高水準の電波利用環境は、イノベーション創出や経済成長の鍵を握る重要な社会基盤であり、必要周波数や適正な電波利用環境の確保、標準化等が重要

## (2) 電波関連産業の市場規模

### ①電波関係産業:

移動通信、放送事業等。通信・放送インフラの整備、通信・放送機器やコンテンツ提供等を通じて、引き続き堅調に成長

### ②電波利用産業:

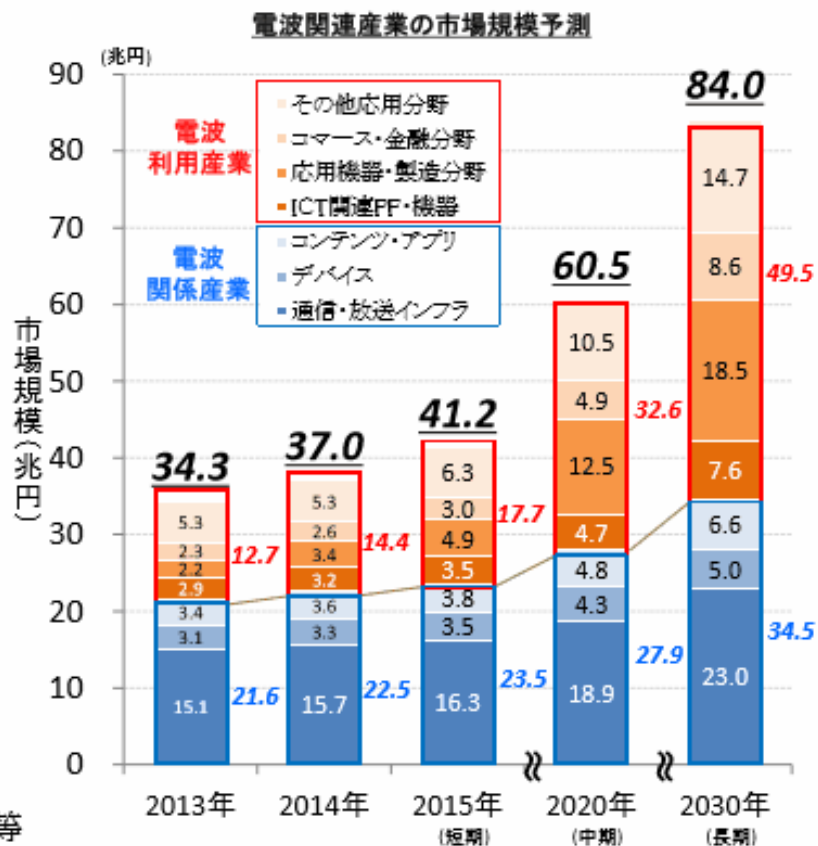
電波を利用するICT関連機器(家電、自動車、ロボット、医療機器等)、各種サービスプラットフォーム等。M2M・IoT等の進展や新たなアプリケーションの創出等により、今後飛躍的に拡大

### 我が国の電波関連産業の市場規模(予測)

2013年 (平成25年)	2020年 (平成32年)	2030年 (平成42年)
34.3兆円	60.5兆円	84.0兆円

## (3) その他電波の利用を支える産業

・無線設備の整備や修理、技術基準の適合性の確認等

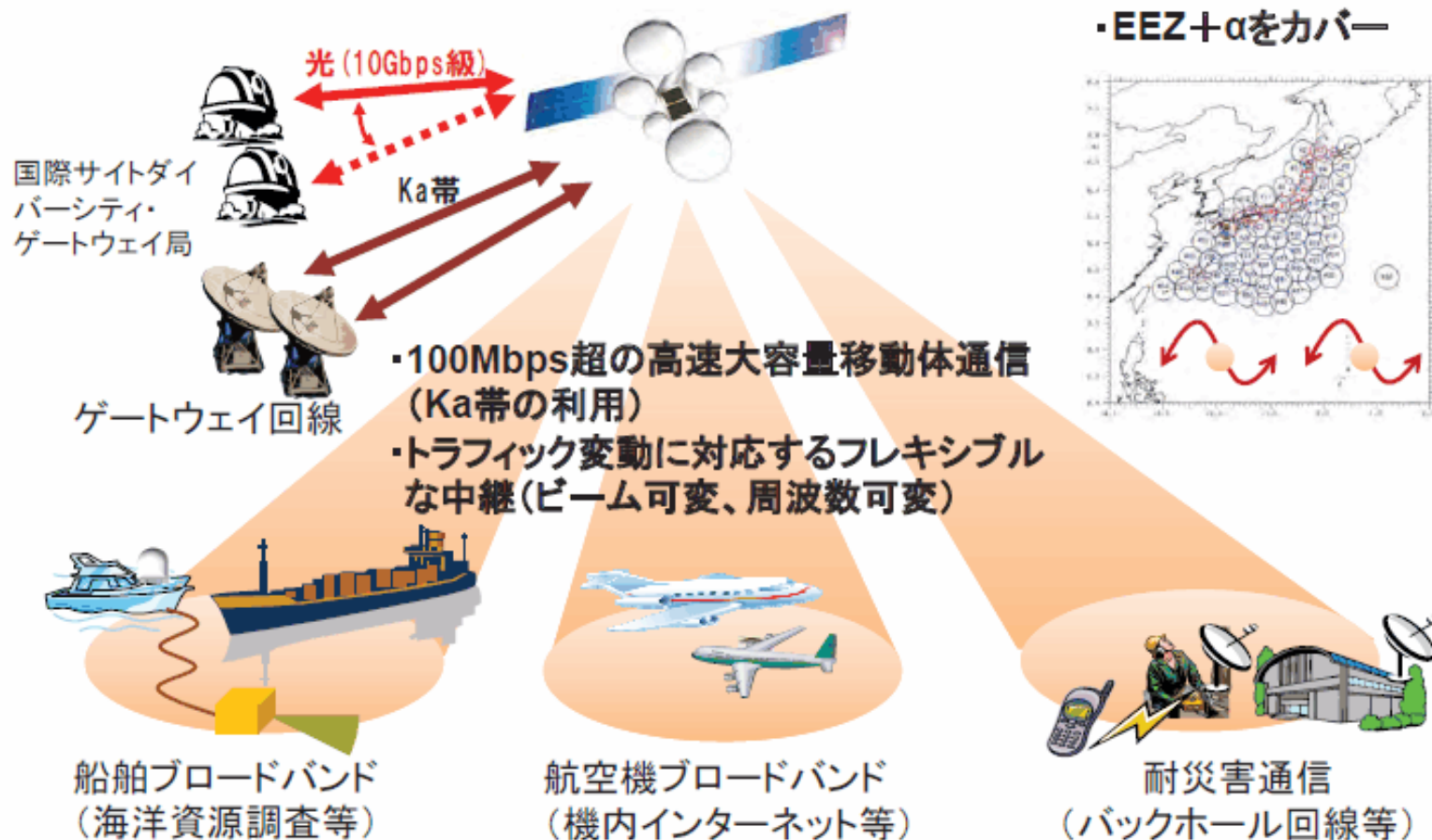


総務省総合通信基盤局電波部 新たな電波利用と電波政策より 平成27年5月25日



# 衛星通信のサービスイメージ

次期技術試験衛星(ETS-IX)

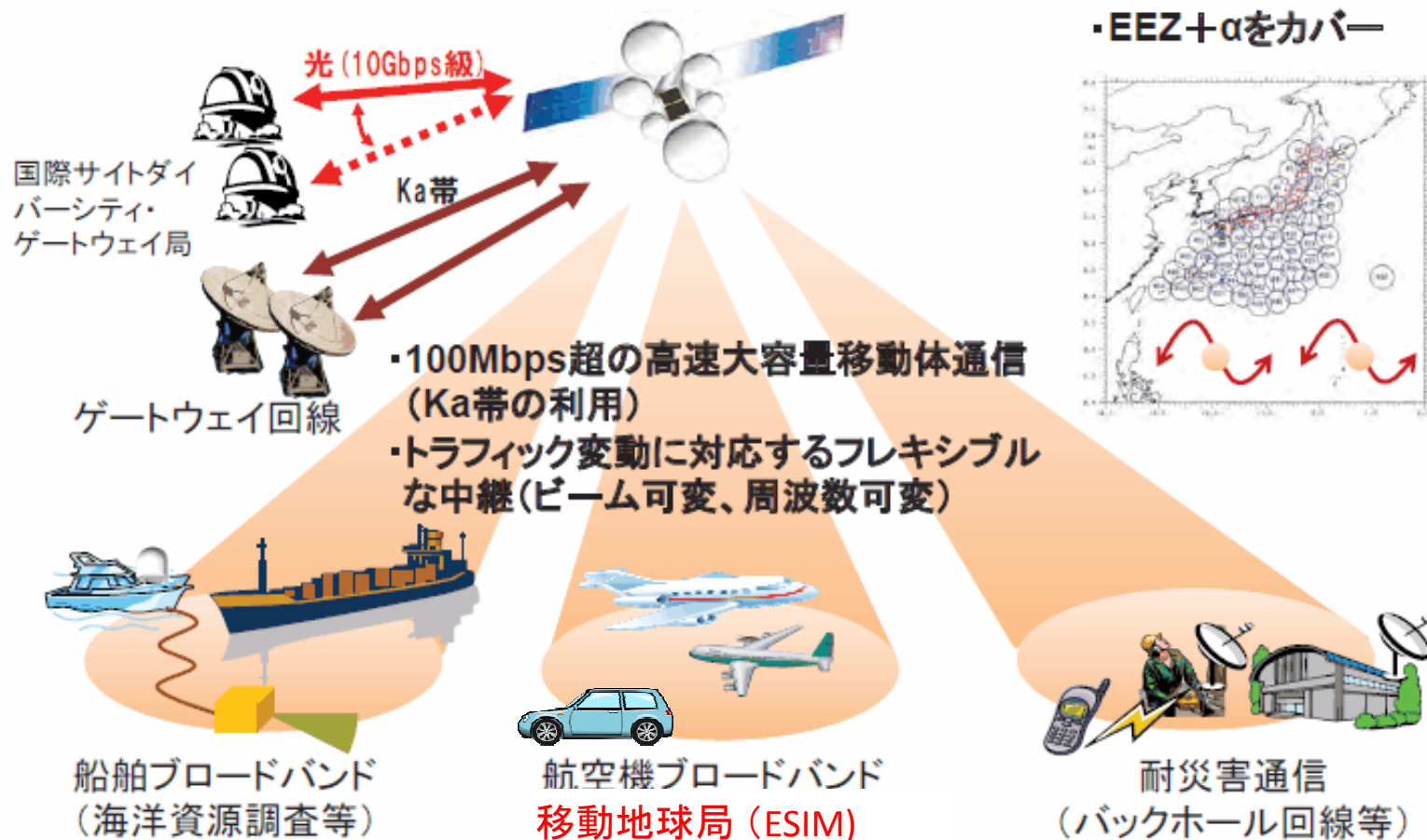


次期技術試験衛星の将来展望に関するワークショップ 2016 より



# 衛星通信のサービスイメージ

次期技術試験衛星(ETS-IX) 等



次期技術試験衛星の将来展望に関するワークショップ 2016 より(一部修正)

## 降雨減衰と降雨強度間の時間差解析

- ・ WINDSプロジェクトで2008年以來、降雨量強度の測定データとKa 帯受信レベル変動の測定を行っている。
- ・ 降雨強度の測定データとKa 帯受信レベル変動の測定から各々のピーク値の時間ずれ (Time Delay) を検証できる降雨減衰モデル (レインセルモデル) を提唱する。
- ・ レインセルモデルから、今後予想される移動地球局に対応したKa帯衛星通信の降雨減衰の推定可能なことを示す。

# Ka 帯受信レベル変動及び降雨強度の測定系

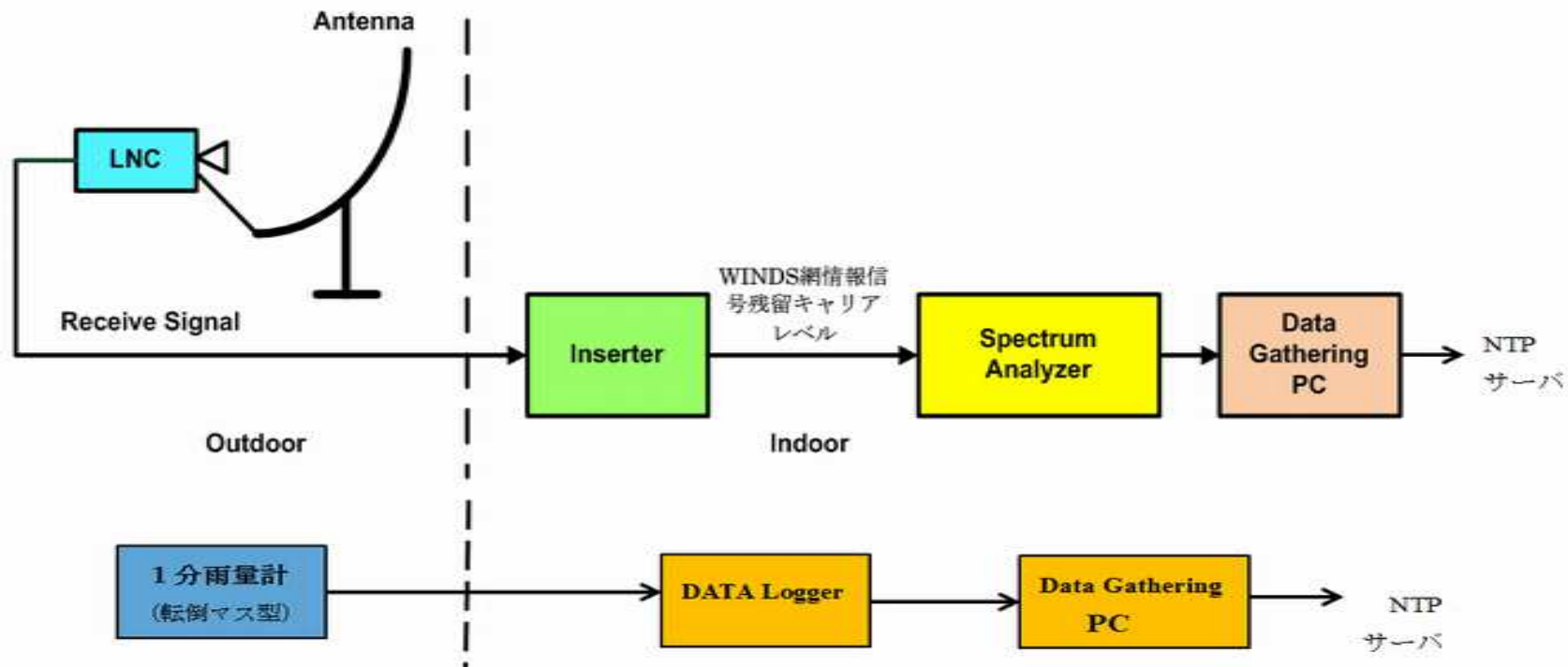


図1 WINDSのKa 帯受信レベル変動及び降雨強度の測定系

## 受信電力データフォーマット(1秒間隔、CSV形式)

Time	Marker1X [MHz]	Marker1Y [dBm]	Marker2X[ MHz]	Marker2Y [dBm]
0:00:01	135.8515	-10.20615	136.151	-10.4222
0:00:02	135.8515	-10.39615	136.151	-10.9178
0:00:03	135.8515	-10.50075	136.151	-10.1878
0:00:04	135.8515	-10.39615	136.151	-10.1355
0:00:05	135.8515	-11.10765	136.151	-11.1004
0:00:06	135.8515	-10.12965	136.151	-98.863
0:00:07	135.8515	-10.76075	136.151	-10.0891
0:00:08	135.8515	-10.25865	136.151	-10.4354
0:00:09	135.8515	-10.53805	136.151	-10.2385
0:00:10	135.8515	-10.63245	136.151	-10.2661
	~	~	~	~

## 降雨強度データフォーマット(1分間隔、CSV形式)

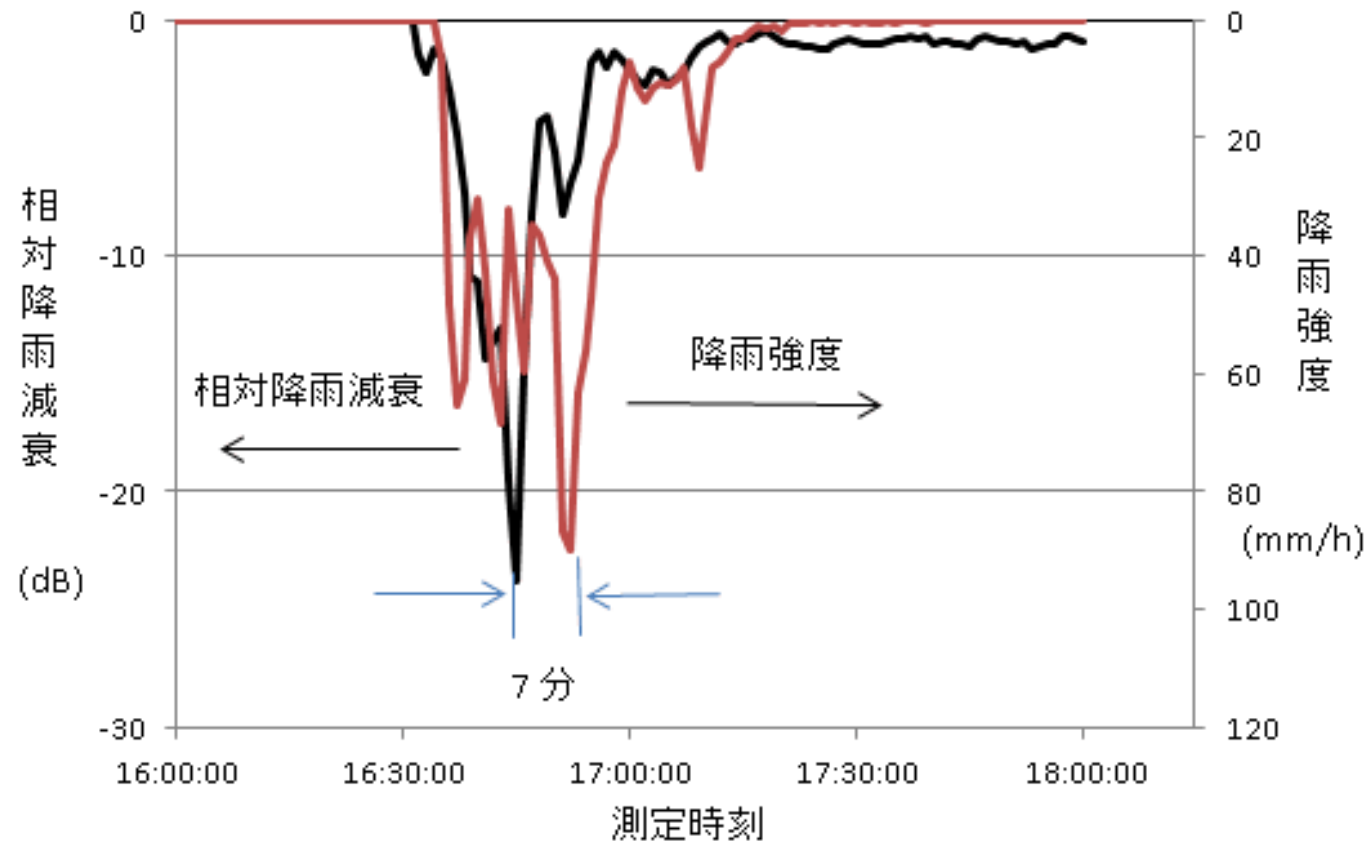
時刻	降雨強度 [mm/h]	区間最大降雨強度 [mm/h]	区間最小降雨強度 [mm/h]
0:01:00	0	0	0
0:02:00	0	0	0
0:03:00	0	0	0
0:04:00	0	0	0
0:05:00	0	0	0
0:06:00	0	0	0
0:07:00	0	0	0
0:08:00	0.5	0.5	0
0:09:00	0	0.5	0
0:10:00	0	0.5	0
0:11:00	0	0.5	0
	~	~	~

表 1 WINDSの網情報送受信信号を用いた  
受信レベル変動及び降雨強度の測定諸元

	上り	下り	備考
アンテナ径	1.2 mφ		
アンテナ利得	44.9 dBi		
EIRP	15.7 dBW以上 ( $\theta=8^\circ$ ) 17.2 dBW以上 ( $\theta=6^\circ$ )		
周波数	28.9 GHz	18.9 GHz	
変調方式	PCM(NRZ・L)/PSK/PM		
副搬送波周波数	16 kHz	40 kHz	
変調度	1.1 rad $\pm$ 10% 以下		
データレート	4 kbps	10 kbps	
受信電力測定	Spectrum analyzer		1 秒ごと
降雨強度測定	転倒マス型		1分雨量
時刻同期	NTPサーバと同期		



## 受信レベル変動及び降雨強度の測定例

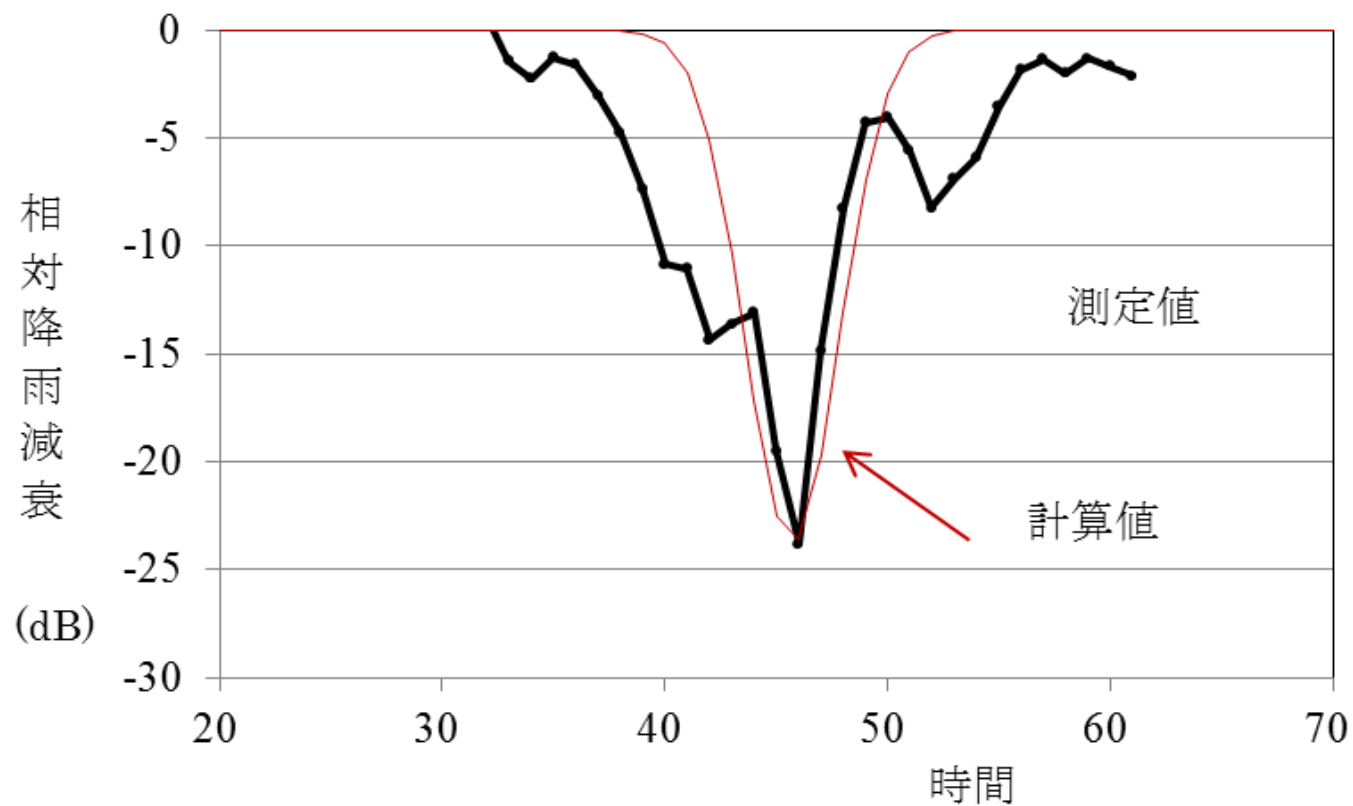


WINDS20120528 相対降雨減衰と降雨強度のグラフ

相対降雨減衰と降雨強度の測定の1例

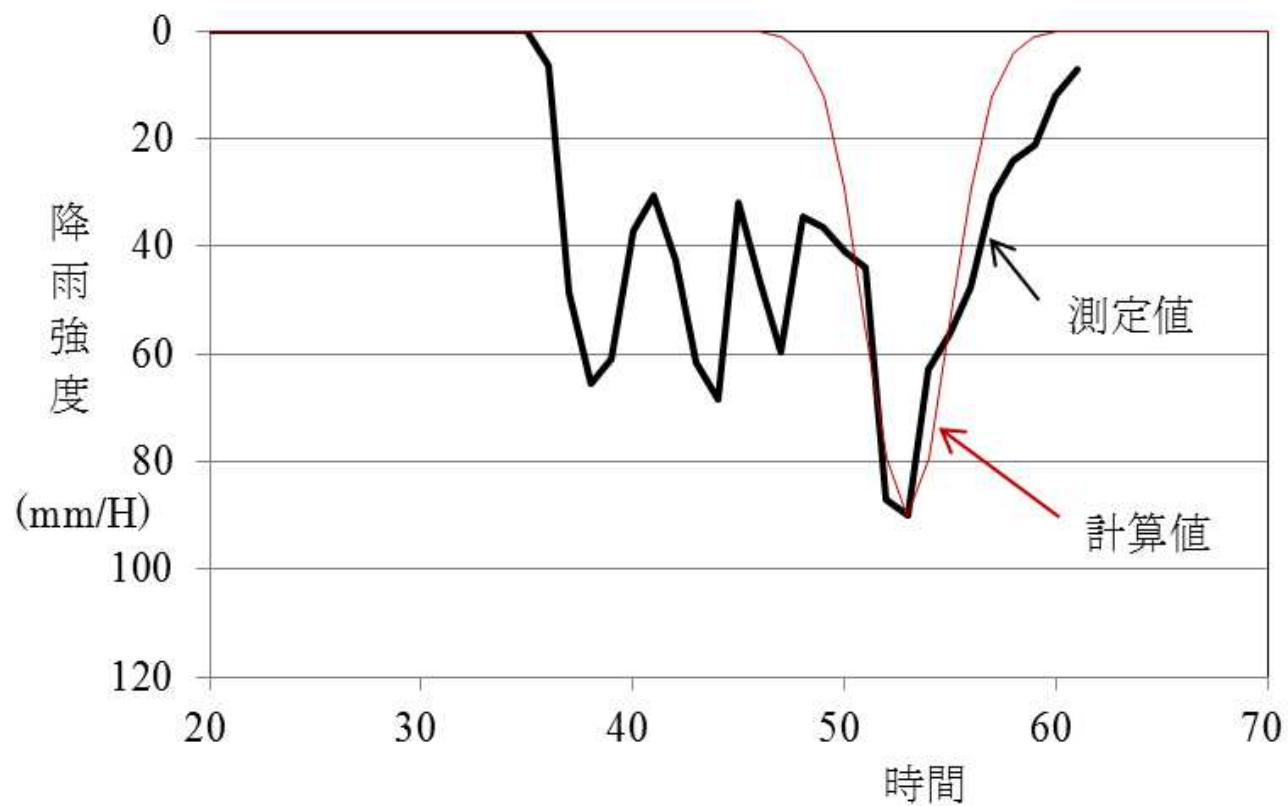
第622回URSI-F会合 2018年3月19日NTT横須賀研究開発センター

## 相対降雨減衰のガウス分布近似



相対降雨減衰と計算値によるガウス分布曲線

## 2.4 降雨強度のガウス分布近似



降雨強度と計算値によるガウス分布曲線

## 降雨減衰と降雨強度のガウス分布近似

降雨減衰のガウス分布表示

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_L} \exp\left(-\frac{(x - mx)^2}{2\sigma_L^2}\right) \quad (1)$$

ここで、 $\sigma_L$ は相対降雨減衰の時間軸上の標準偏差

降雨強度のガウス分布表示

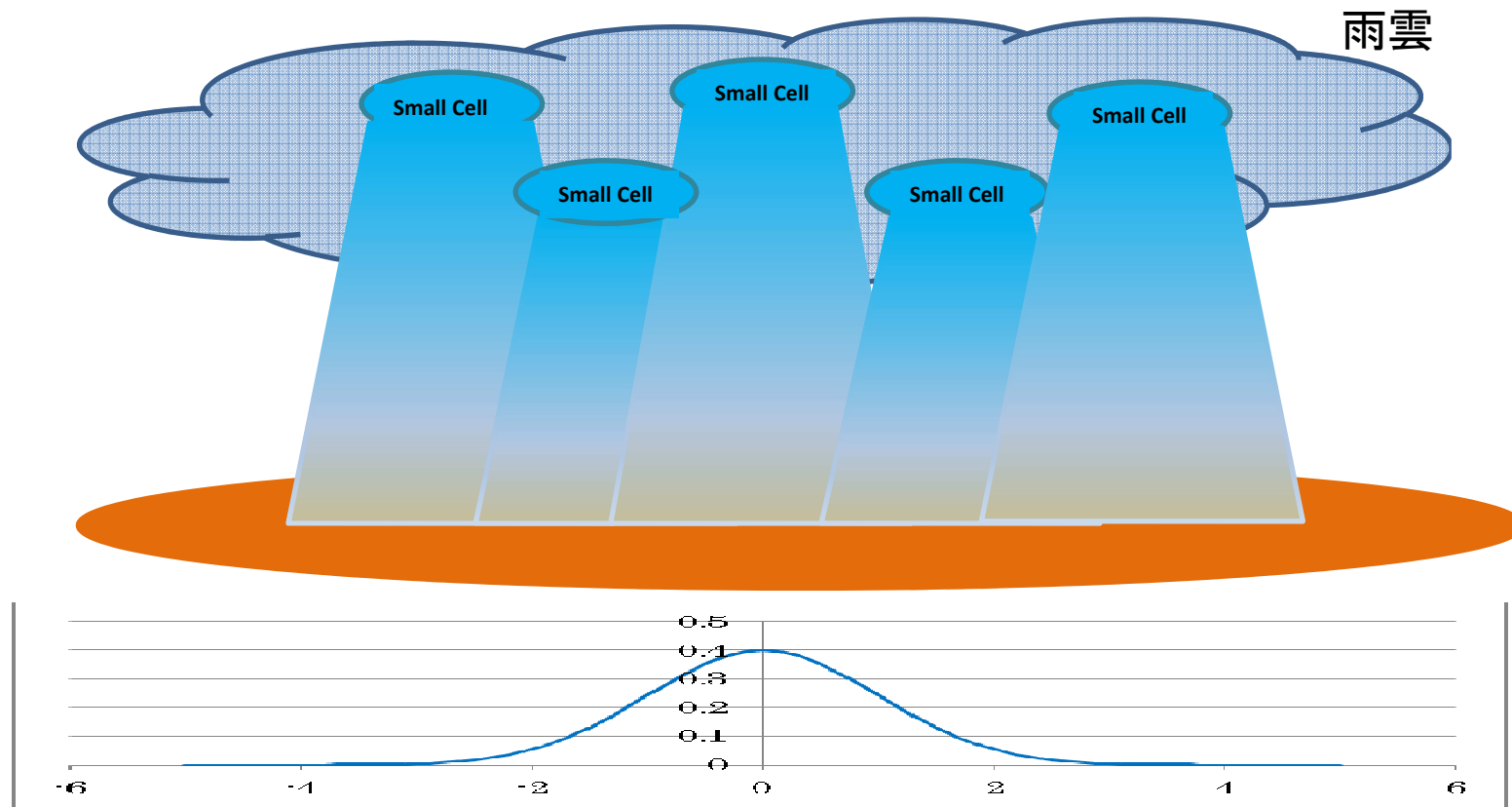
$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_r} \exp\left(-\frac{(x - mx)^2}{2\sigma_r^2}\right) \quad (2)$$

ここで、 $\sigma_r$ は降雨強度の時間軸上の標準偏差である。

# 降雨減衰と降雨強度にガウス分布を用いる根拠

## 中心極限定理から

単体 (Small Cell) ではその確率分布が正規分布とは大きく異なる確率変数であっても、 $n$  が十分大きいとき近似的に標本平均の確率分布は正規分布に近似できる。



## 雲群の例



西太平洋で見られた整然と並ぶ雲群

原典: 国立環境研究所

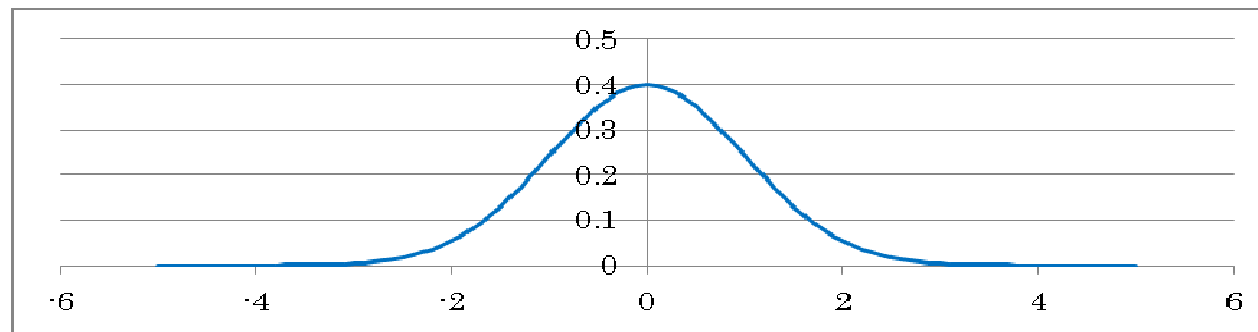
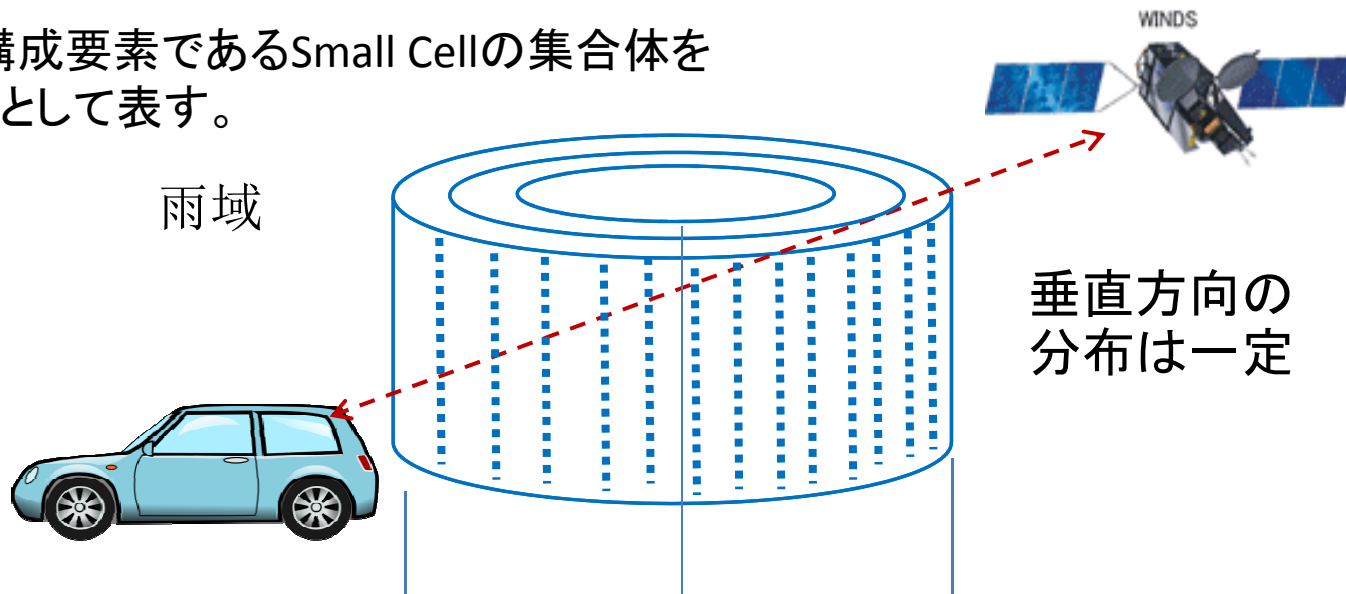
<http://www.nies.go.jp/kanko/news/29/29-1/29-1-04.html>

第622回URSI-F会合 2018年3月19日NTT横須賀研究開発センター



# 雨域のレインセルモデルの提案

雨雲の構成要素であるSmall Cellの集合体を  
レンセルとして表す。



降雨強度分布

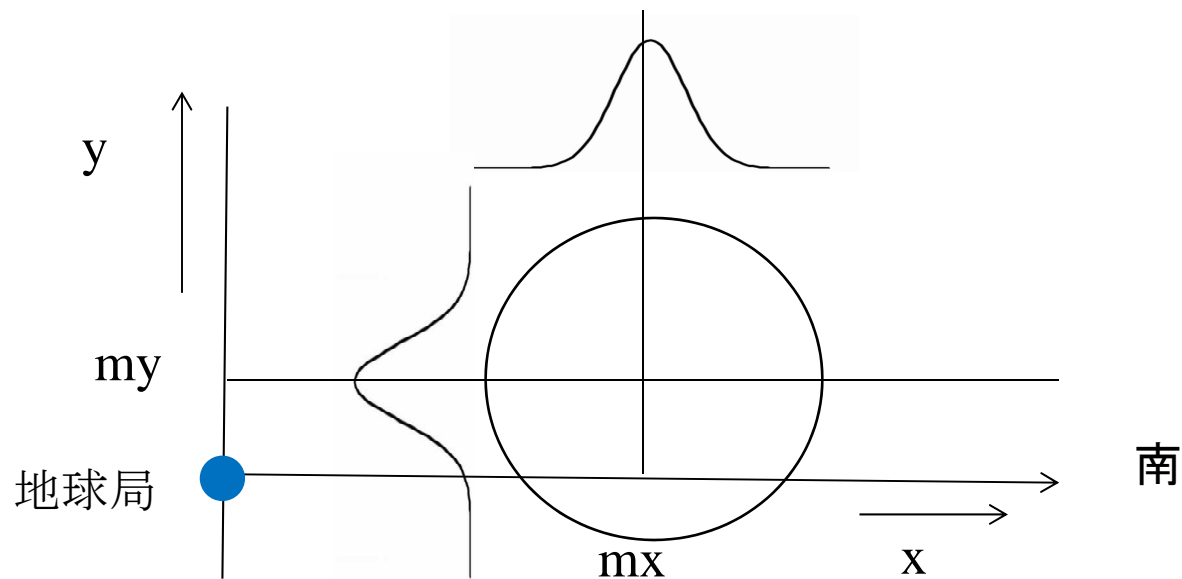
## 降雨強度のガウス分布

$$f(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x - mx)^2 + (y - my)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

ここで、

$\sigma$  : レインセルモデルの時間軸上の標準偏差である。

$mx, my$  :: レインセルの中央値を示す。



# 降雨強度のガウス分布

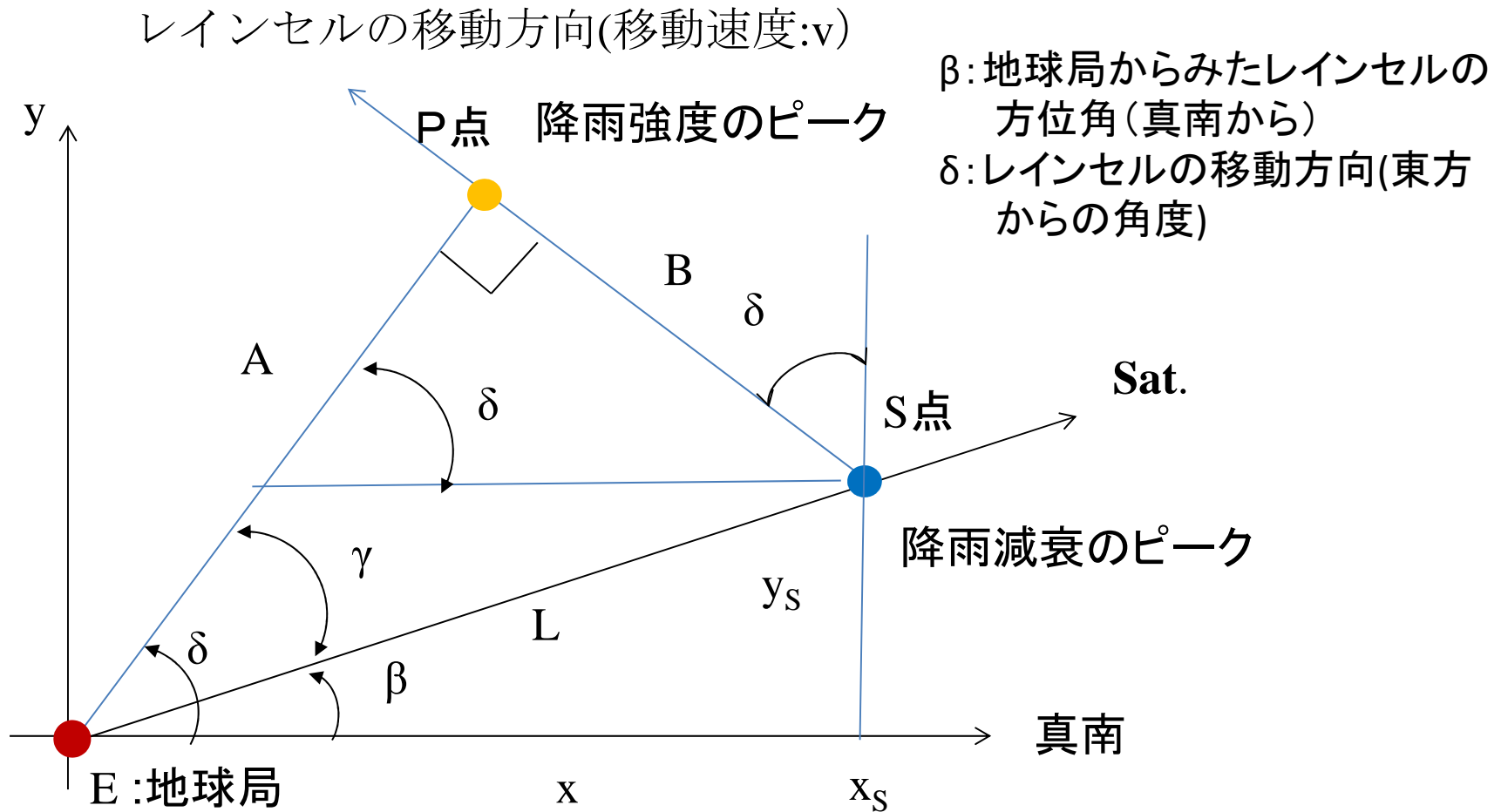


図7. レインセルの幾何学的位置関係

## レインセルの諸元推定(1)

降雨強度のガウス分布表示

$$R(s) = R_0 \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left( \frac{s}{\sigma} \right)^2 \right\} \quad (4)$$

ここで、

$R_0$ : レインセル中心部にお降雨強度[mm/Hr]

$\sigma$ : 降雨強度分布の標準偏差

$$s = \Delta x^2 + \Delta y^2$$

# レインセルの諸元推定(2)

## 測定値からガウス分布のσの求値

測定点数が少ないため、最小自乗法、降下法が使えないため数点法を採用

$$f(x) = A \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

零を基点に、 $\mu = 0$ から

$$\frac{f(x)}{A} = \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \tag{4}$$

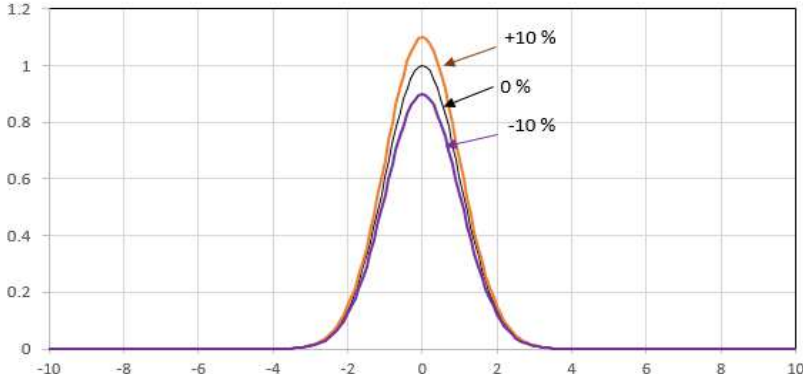
$$\log\left\{\frac{f(x)}{A}\right\} = -\frac{x^2}{2\sigma^2}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{-x^2}{2 \log\left\{\frac{f(x)}{A}\right\}}} \tag{5}$$

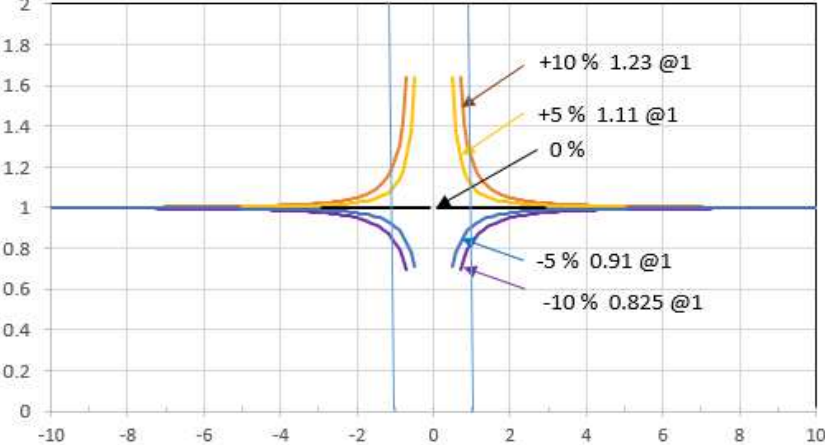
複数のポイントでは、平均化して

$$\sigma = \frac{\sum \sigma_n}{N} \tag{6}$$

となる。



ガウス分布の測定に偏差がある場合



2点法によるσ推定値の偏差

### 3.3 レインセルの諸元推定

降雨減衰の計算式

$$\gamma = 1 / \cos \xi \times \sum_{x=-a}^b k R(s)^\alpha \Delta s \quad [dB]$$

ここで、

$a$  : 雨域の中心から地球局 までの距離

$k$  : 降雨強度と降雨減衰の 関係式のパラメータ

$\alpha$  : 降雨強度と降雨減衰の 関係式のパラメータ

$R(s)$  : 降雨強度ガウス分布  $[mm / h]$

$b$  : セルモデルの直径  $[km]$

$$s = |x - x_c|$$

$\Delta s$  : 離散積分のキザミ幅  $[1km]$

$\xi$  : 地球局から見た衛星 の仰角



### 3.3 レインセルの諸元推定

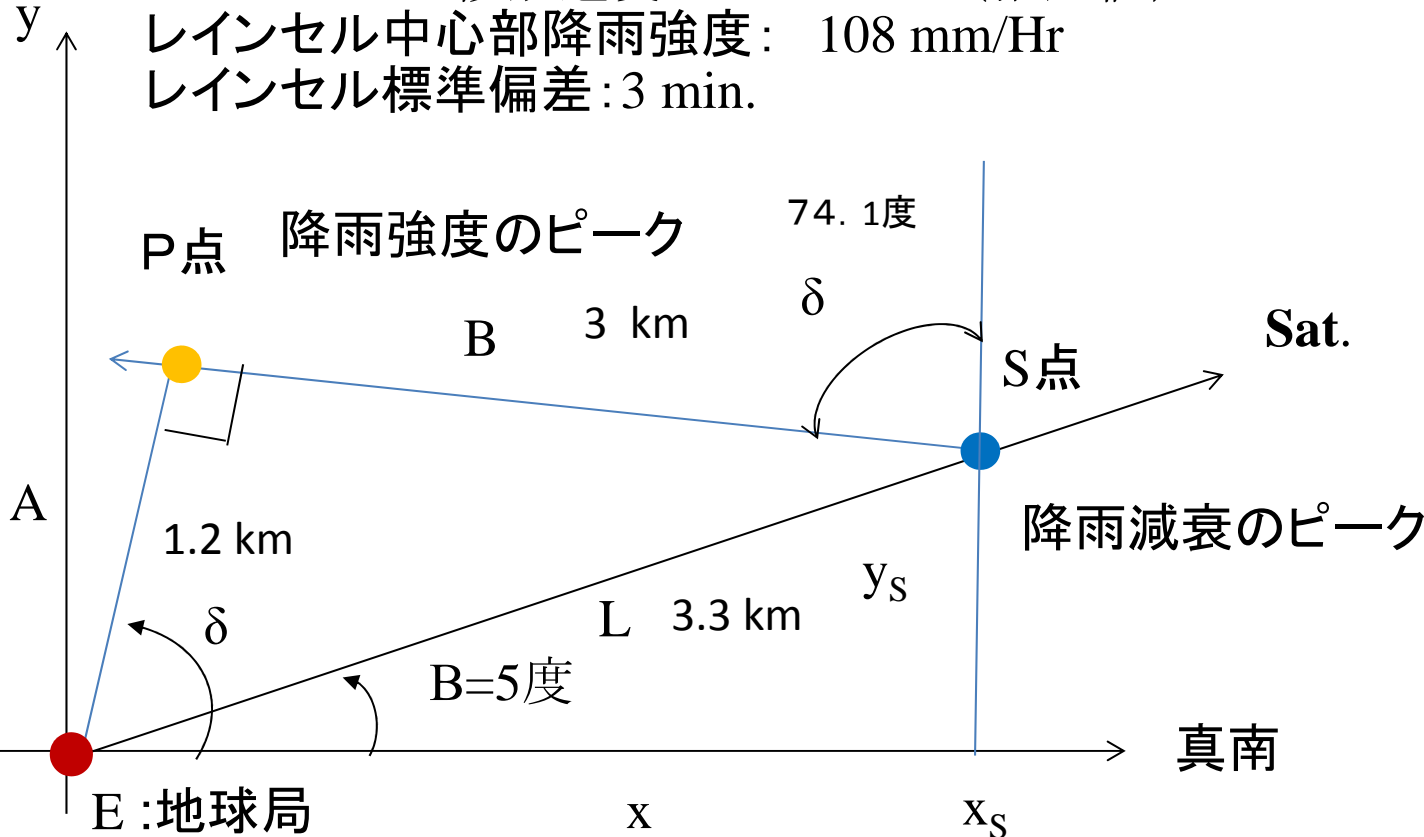
降雨強度と降雨減衰のピークと標準偏差からレインセルの諸元は以下の手順で求められる。

- ① レインセルの降雨強度の正規化標準偏差を計算
- ② 降雨減衰の正規化標準偏差を計算
- ③ レインセルの降雨強度と降雨減衰の正規化標準偏差からレインセルの移動方向の計算
- ④ 降雨減衰のピーク値からレインセル中心部の降雨強度計算
- ⑤ 降雨強度のピーク値からレインセル中心部と測定点の最短距離を計算
- ⑥ レインセルの移動方向と測定点のレインセルとの最短距離からレインセル諸元の計算

ただし、補助データとして象庁高解像度降水ナウキャスト等を利用

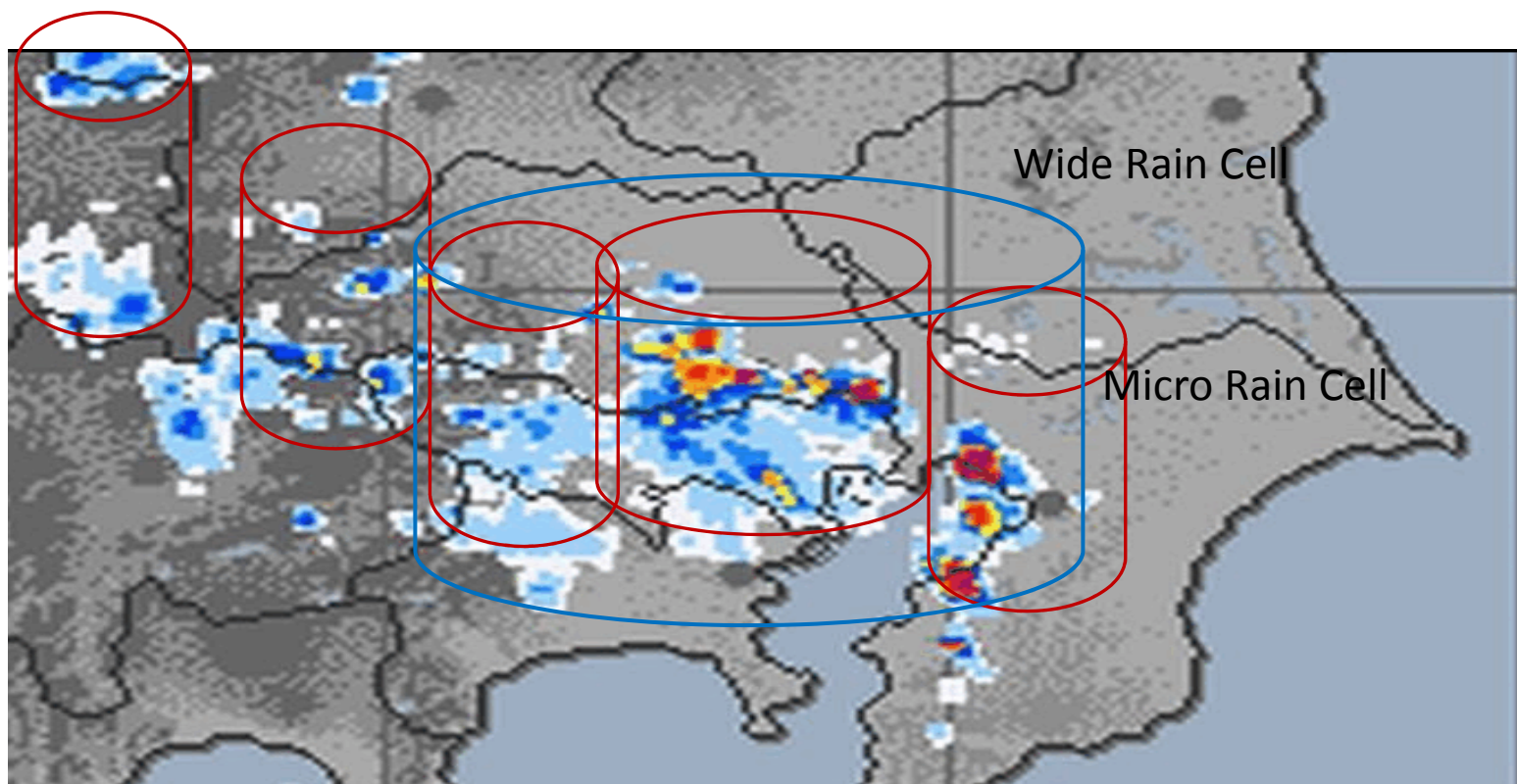
# レインセルの諸元推定例1

レインセルの移動速度：30 km/Hr (推定値)  
レインセル中心部降雨強度：108 mm/Hr  
レインセル標準偏差：3 min.



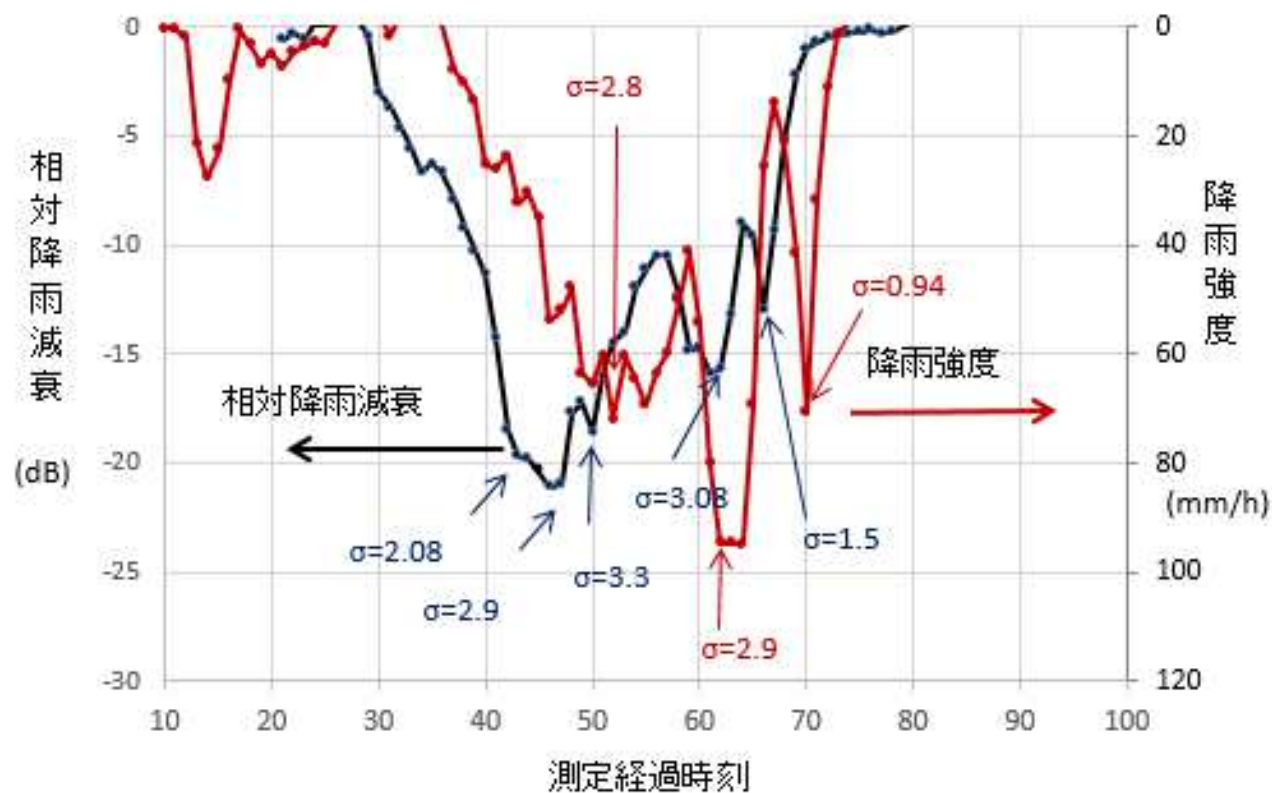
レインセルの幾何学的位置関係(例)

## 広範囲の雨息に対する複数のレインセル構成



原典：気象庁高解像度降水ナウキャストに一部加工

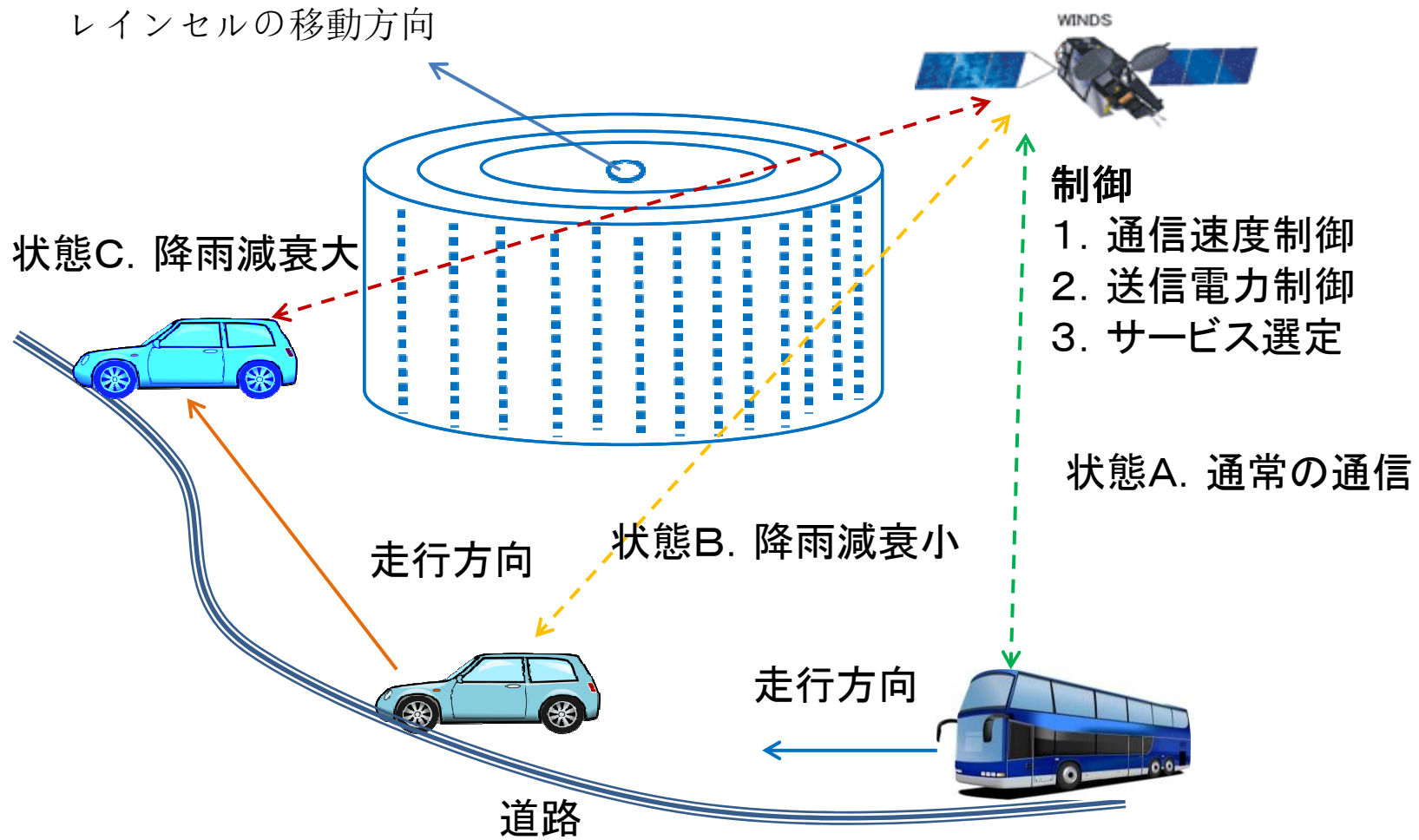
## レインセルのピークが複数現れる例



WINDS20120528 相対降雨減衰と降雨強度のグラフ

(標準偏差  $\sigma$  値は2点法による)

# レインセルモデルを適用した時の利用形態



## 4. むすび

---

1. 降雨域を2次元ガウス分布と垂直方向は分布を一定とするシリンダリカルなレインセルモデルを提案した。
2. レインセルモデルを用いて、降雨減衰と降雨強度のデータ値のタイムディレイの解析を行った。
3. レインセルモデルを用いて、移動地球局の移動ルートに対する降雨減衰の予測が行えること示した。
4. 今後は解析データを集めてレインセルモデル諸元の推定の精度高める。



## 今後の展望

---

1. 気象データの利用
2. 降雨域の複数のレインセル適用の検討
3. 3次元レインセルへの展開  
3次元降水分布を反映

## 参考文献

- [1] 喜連川優, “情報爆発のこれから,” 電子情報通信 学会誌、Vol.94, No8, 2011
- [2] 大木孝, “衛星通信サービスの世界動向,” 通信衛星の将来展望に関するワークショップ2017、(国)情報通信研究機構、2017年5月18日
- [3] I.Nakazawa, S. Yamamoto, K.Kawasaki. M.Toyoshima, T. Takahashi, “The Evaluation Results under Condition of very Rough Radio Environment of Signal Processor Section of Satellite Communication Facilities” IAC, IAC-16-B2, Sep.2016
- [4] 島田政明、黒田知紀、谷島正信、小澤悟、小川康雄、横山幹雄、高橋卓、“超高速インターネット衛星(WINDS)特集 3-2 通信システム,” 情報通信研究機構季報、Vo.53 No.4 2007
- [5] “Specific attenuation model for rain for use in prediction methods,” ITU-RECOMMENDATION Rec.P.838-3
- [6] 峰松史明、鈴木陽一、今井一夫、正源和義、“21GHz 帯衛星放送実現のための新しい降雨減衰推定法,” 第500回 URSI-F分科会発資料, 2005年12月16日
- [7] 福地一、古津年章、石塚仁好、高橋鉄雄、梶川實、乙津祐一、林理三男、古濱洋治、“電波伝搬に関する実験,” 電波研究所季報、Vol.27 No.143, pp.141-178, May 1981

## 参考文献

- [8] Mandeep Singh Jit Singht, Syed Idris Syed Hassan, Mohd Fadzil Ain, Kiyoshi Igarashi, Kenji Tanaka and itsuyoshi Iida, "Proposed Rain Attenuation Model Revised From ITU Used For Prediction In Tropical Climates," IEEE ICICS, 2005
- [9] 鈴木健治, 久保岡俊宏, 布施哲治, 山本伸一, 國森裕生, 豊嶋守生, "衛星-地上局間光空間通信のための実環境データ情報収集システム", 信学技報, Vol.113, No.436, SAT2013-50(2014-2), pp1-4, 2014-02.
- [10] Kenji SUZUKI, Dimitar KOLEV, Alberto CARRASCO-CASADO, and Morio TOYOSHIMA, 'Environmental-data Collection System for Satellite-to-Ground Optical Communications', Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan, Vol.16, No.1, pp.35-39,2018.
- [11] 中澤 勇夫、川崎 和義、菅 智茂、浅井 敏男、豊嶋 守生、高橋 卓、"Ka帯衛星通信における降雨減衰と降雨強度間のタイムディレイ解析、" 信学技報、SAT2017-37(2017-8)、pp87-91、2017-08.

## 謝辞

---

本研究を進めるに当たり、測定データの取り扱いと整理、データ解析に助言を頂いた、WINDSシステムおよび「衛星－地上局間光空間通信のための実環境データ情報収集システム」の関係各位に感謝いたします。

御清聴ありがとうございました