

# 第15回新春懇談会

光技術と無線技術の融合を目指して  
～アンテナへの光技術の応用や  
衛星通信伝搬実験を題材として～

平成21年1月17日(土)

名城大学理工学部  
電気電子工学科

中條 渉

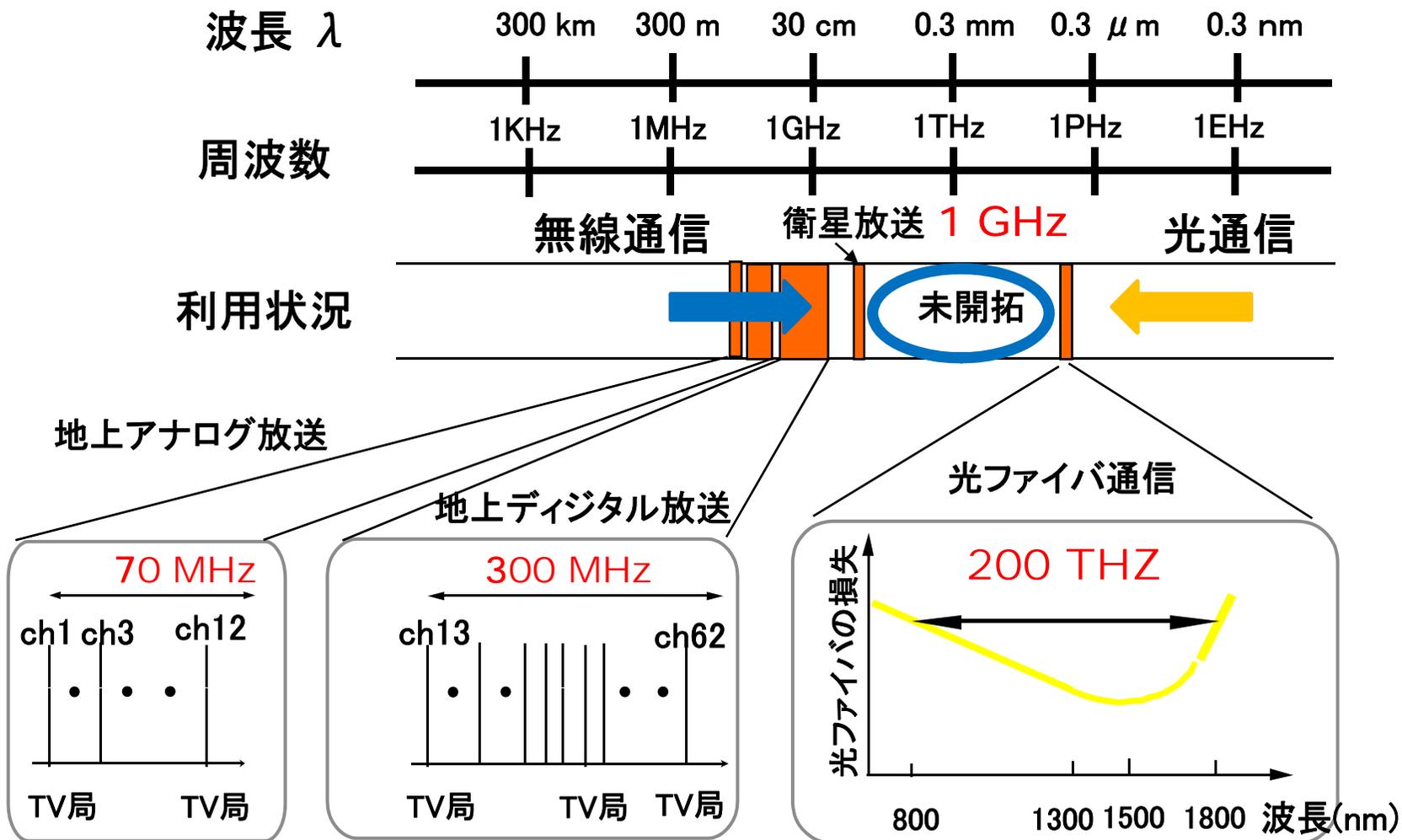
あらまし

---



1. 光技術と無線技術の融合
2. アンテナへの光技術の応用
3. 衛星通信伝搬実験

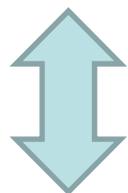
# 無線通信と光通信



# 光技術と無線技術

無線技術

高密度コヒーレント通信技術



- ・伝搬技術
- ・デジタル信号処理技術

光技術

光並列処理技術

光遅延線技術

空間並列処理

波長多重技術

- ・フーリエ光学系
- ・空間光位相変調器
- ・波長分散
- ・光合分波器

- ・光ファイバ
- ・光導波路
- ・光スイッチ



# マイクロ波・ミリ波フォトニクス分野

## マイクロ波・ミリ波無線技術へ光技術を適用 (光技術へマイクロ波・ミリ波無線技術を適用)

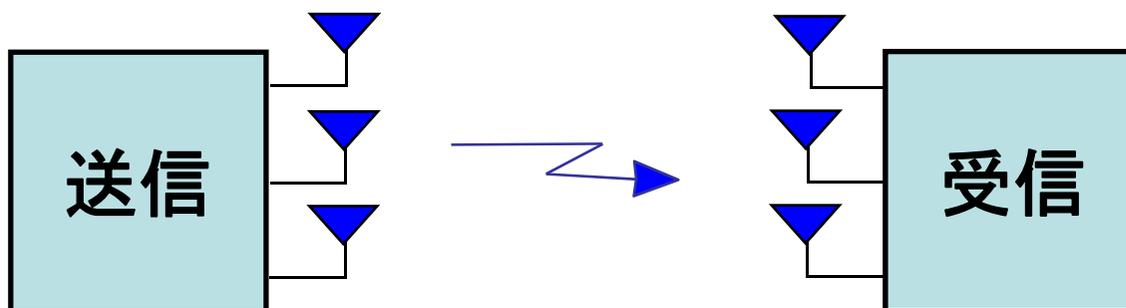
- ・マイクロ波・ミリ波・サブミリ波帯光デバイスおよび駆動回路
- ・光技術によるマイクロ波・ミリ波・サブミリ波信号
- ・テラヘルツ波および応用技術
- ・光技術による超高速電気信号の発生と制御
- ・光マイクロ波・ミリ波融合デバイスおよびサブシステム
- ・光ファイバによるマイクロ波・ミリ波の伝送
- ・光ファイバ給電ワイヤレスアクセスシステム
- ・光制御アンテナおよびフェーズドアレー
- ・光無線応用技術, 光によるマイクロ波・ミリ波計測技術
- ・光マイクロ波・ミリ波技術の宇宙応用



## 2. アンテナへの光技術の応用

# アレーアンテナ

アレーアンテナ：複数のアンテナを配列して、その全部または一部を励振するアンテナ



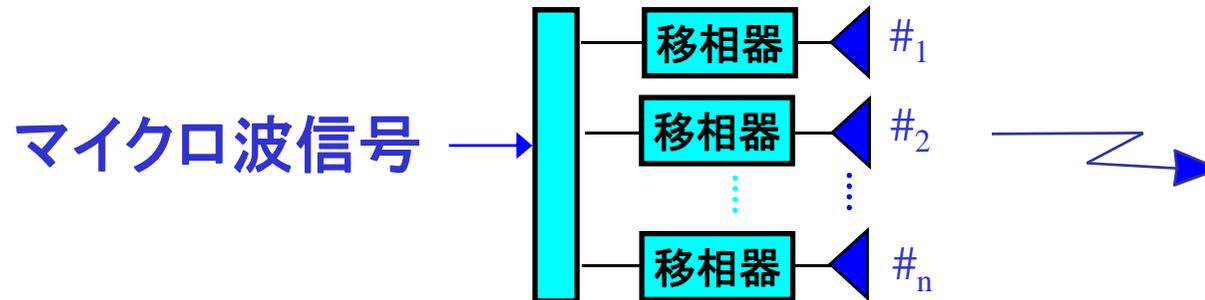
機能：

- ・利得増大，干渉波低減など所望の放射パターンの実現
- ・移動通信やレーダなどのビーム走査（フェーズドアレー）

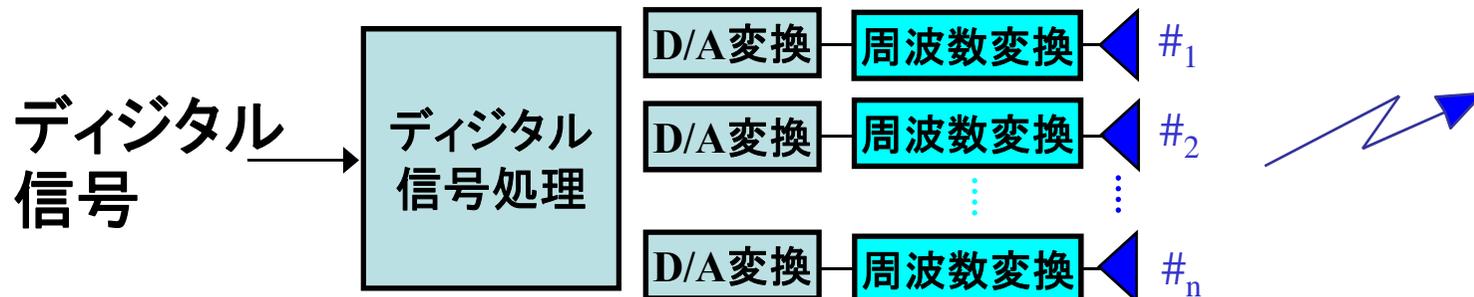
# アレーアンテナの放射パターン形成法の比較



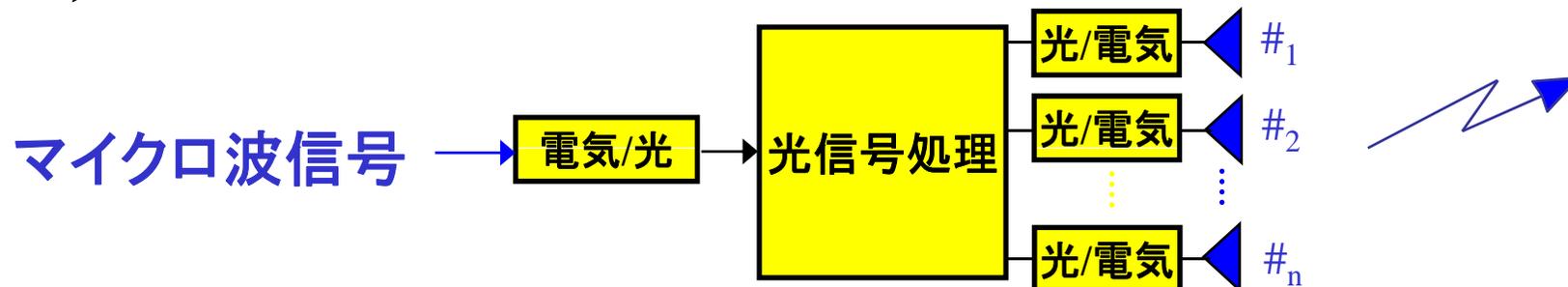
## i) マイクロ波移相器を用いた放射パターン形成法



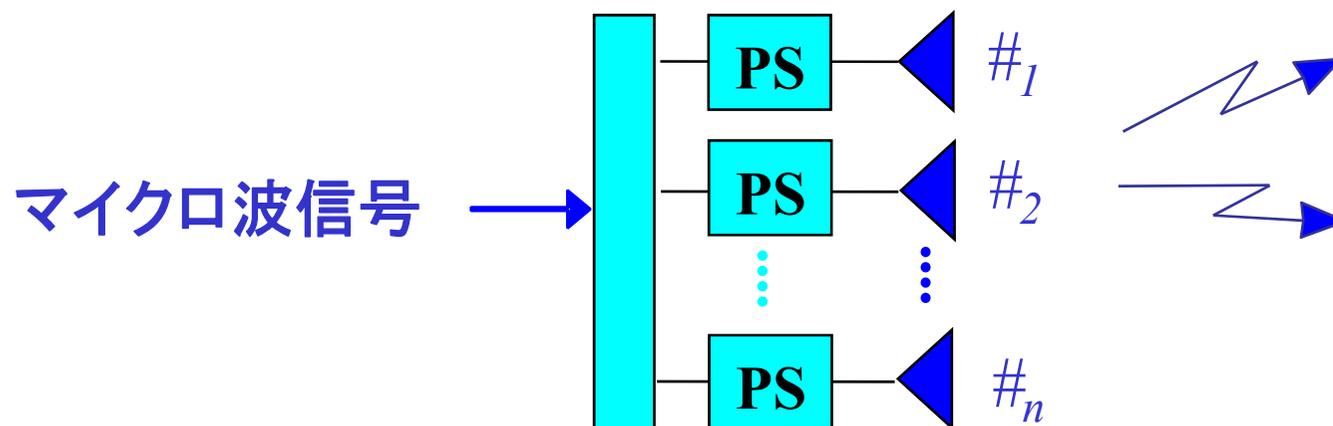
## ii) デジタル信号処理を用いた放射パターン形成法



## iii) 光技術を用いた放射パターン形成法



# マイクロ波移相器によるパターン形成



PS: Phase Shifter

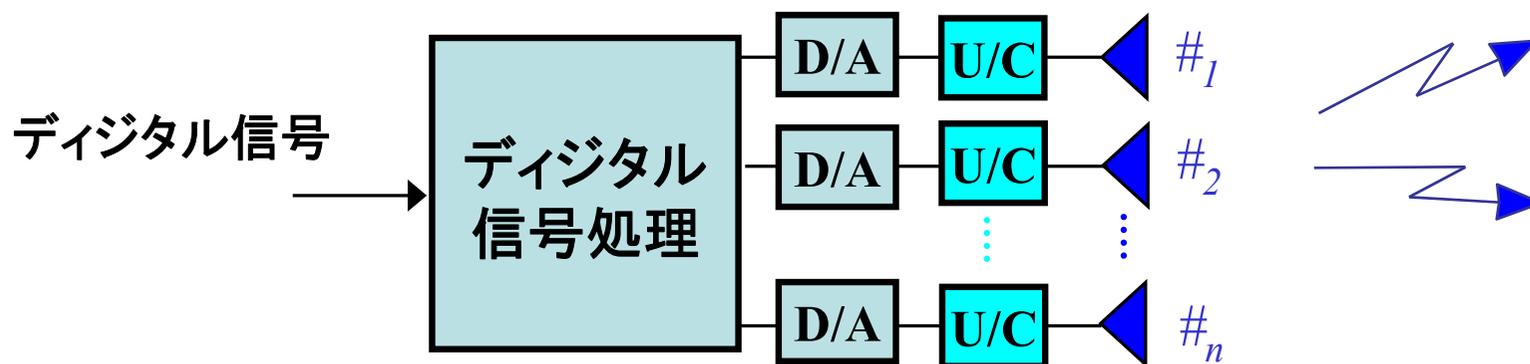
長所:

- ・受動回路で単純な構成。
- ・信頼性は高い。
- ・コストも比較的安価。

欠点:

- ・無線周波数、アンテナ素子数の増大により回路損失や重量が増大。
- ・複雑な信号処理が難しい。

# デジタルビーム形成



U/C: Up Converter

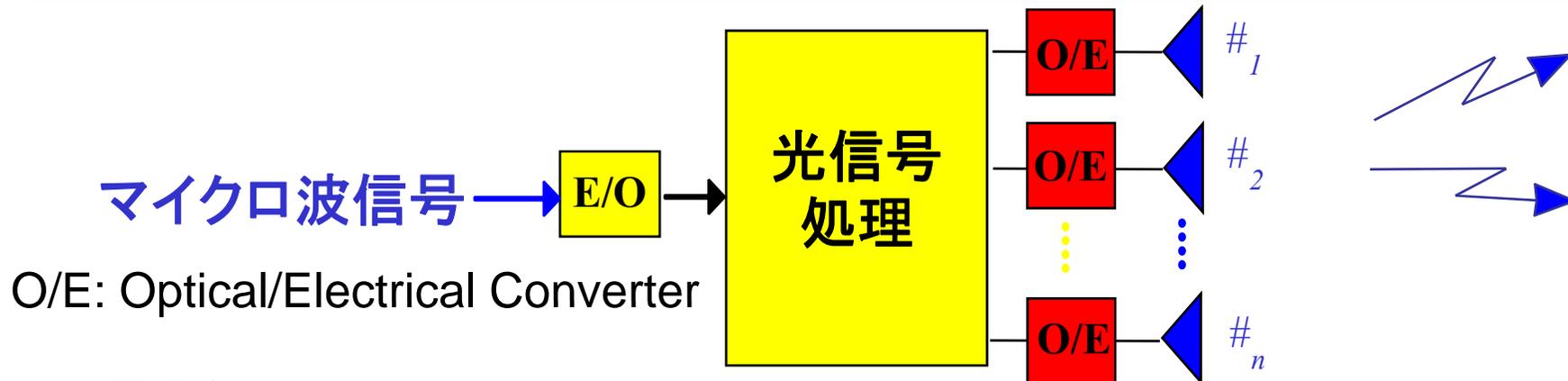
## 長所:

- ・デジタル信号処理による高精度・柔軟なパターン形成。
- ・デジタル変復調や多重化方式と一体となった信号処理。
- ・信頼性も高い。

## 欠点:

- ・回路損失を補うため増幅器など能動素子が必要。
- ・A/D, D/A変換器のサンプリング速度による処理速度制限。
- ・素子数や周波数の増大による処理部の消費電力の増大。

# 光技術によるビーム形成



## 長所:

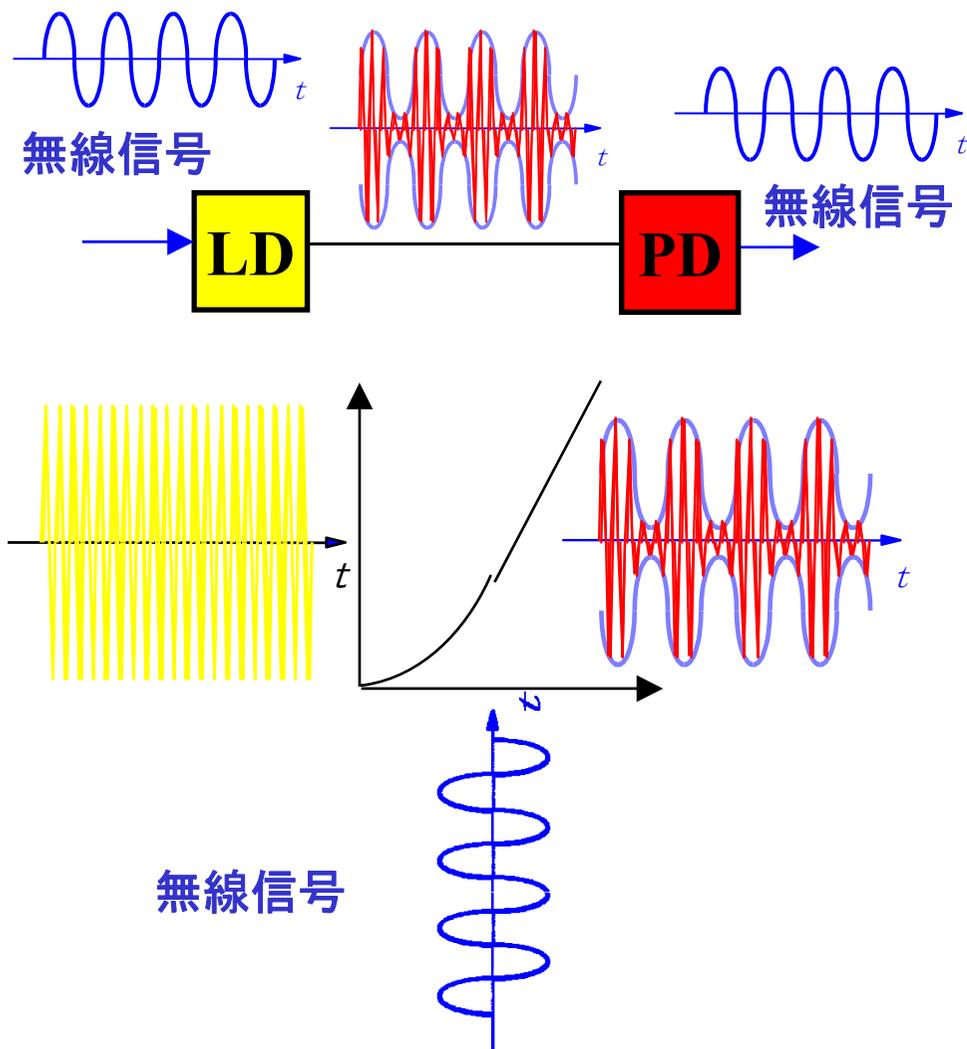
- ・無線周波数に依存せず光回路は小型・軽量。
- ・ミリ波帯など高周波・広帯域化が容易。
- ・実時間遅延特性を有する。
- ・耐電磁障害性。

## 欠点:

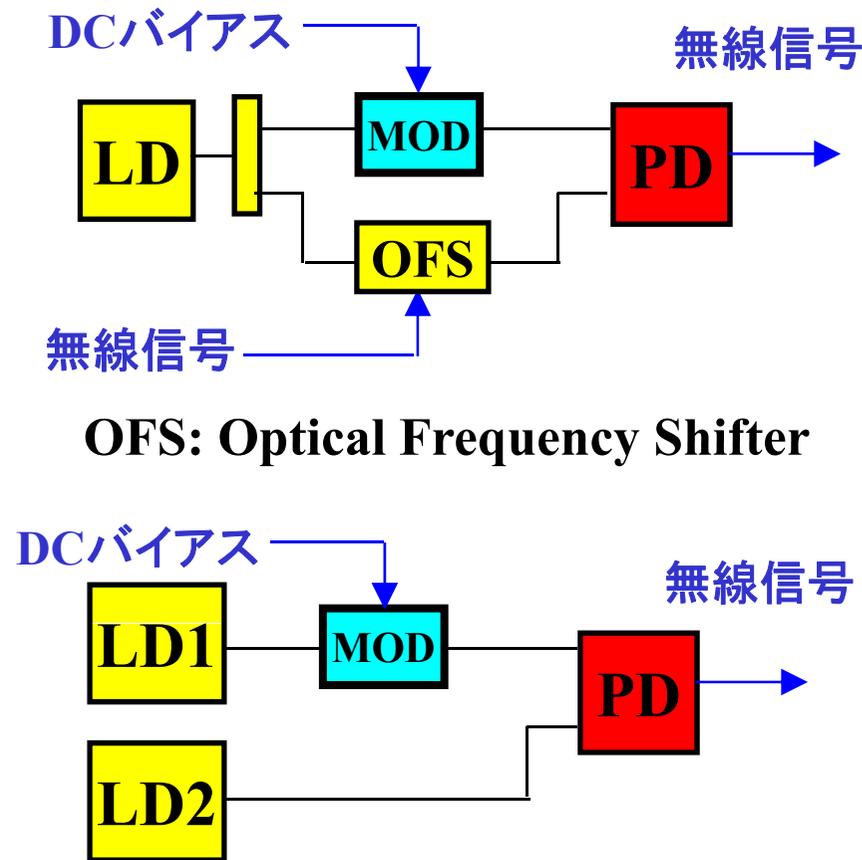
- ・E/O, O/Eの変換損失。
- ・現状では、光部品のコストが比較的高い。

# 光搬送波による無線信号の伝送

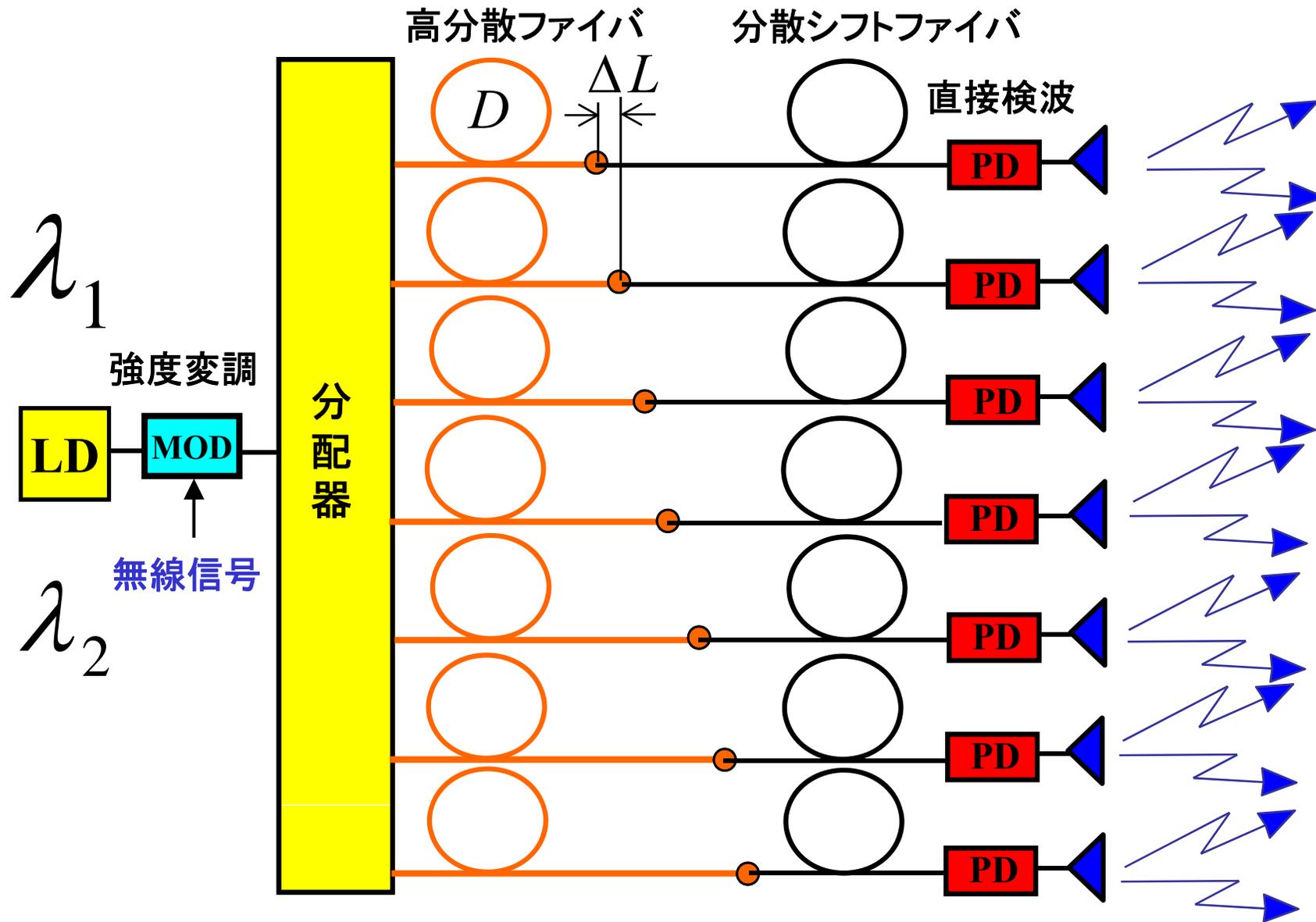
## 強度変調／直接検波(IM/DD)方式



## コヒーレント検波方式



# 光遅延線によるアレーアンテナへの位相分配



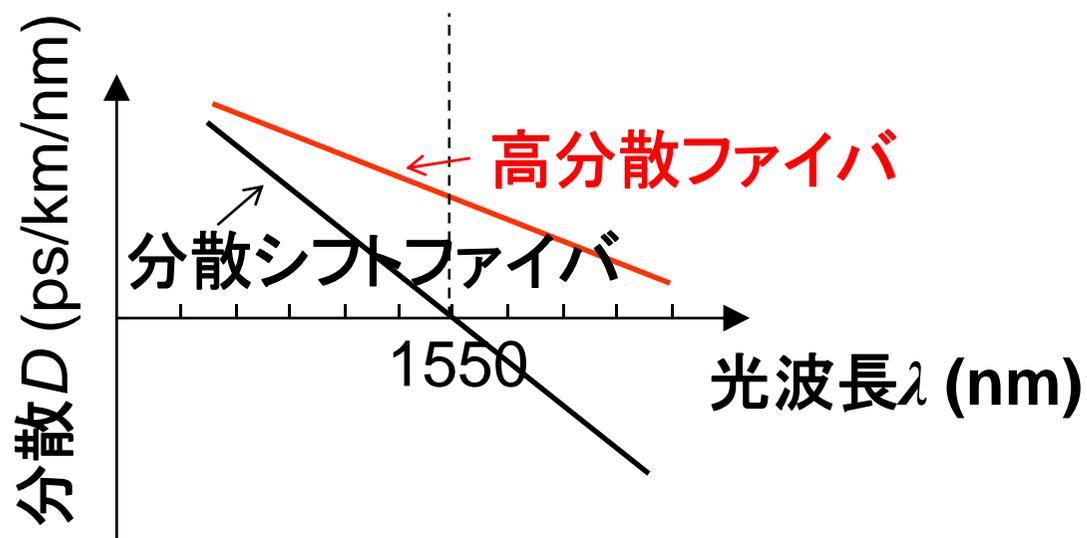
# 光遅延線による遅延時間の設定

隣接するアンテナ素子間の遅延時間差  $\Delta\tau$

$$\Delta\tau = D \Delta L$$

$D$ : 高分散ファイバの分散値

$\Delta L$ : 隣接する高分散ファイバ長の差



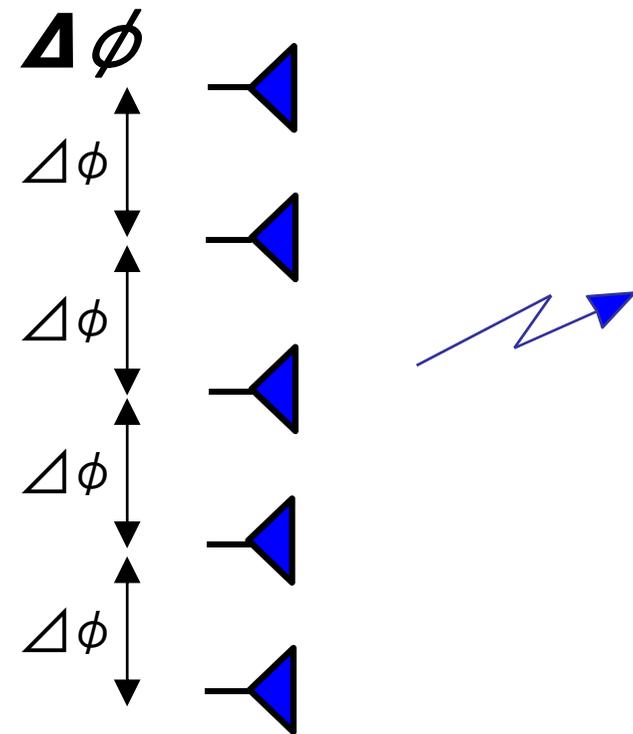
# 光遅延線によるアンテナ素子間の位相差



アンテナ素子間の無線信号の位相差  $\Delta\phi$

$$\Delta\phi = 2\pi\Delta\tau f_{RF}$$

ここで,  $f_{RF}$  : 無線マイクロ波周波数

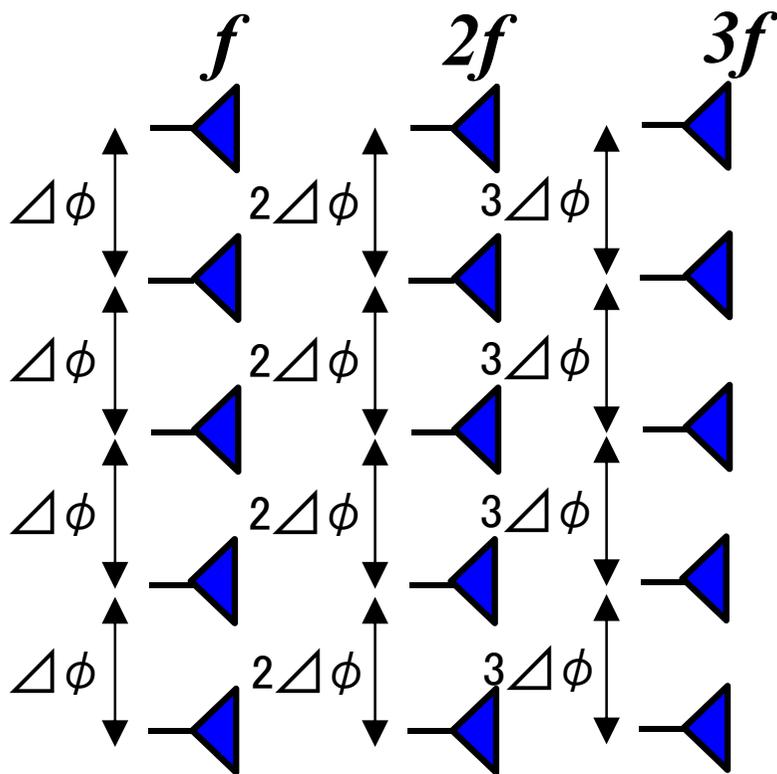


実遅延時間  $\tau$  に基づいて位相  $\phi$  が与えられるので、無線周波数  $f_{RF}$  が2倍になれば、位相量  $\Delta\phi$  も2倍になる。またアンテナ素子数が増えても、それに比例する位相量  $\Delta\phi$  を与えることができる。

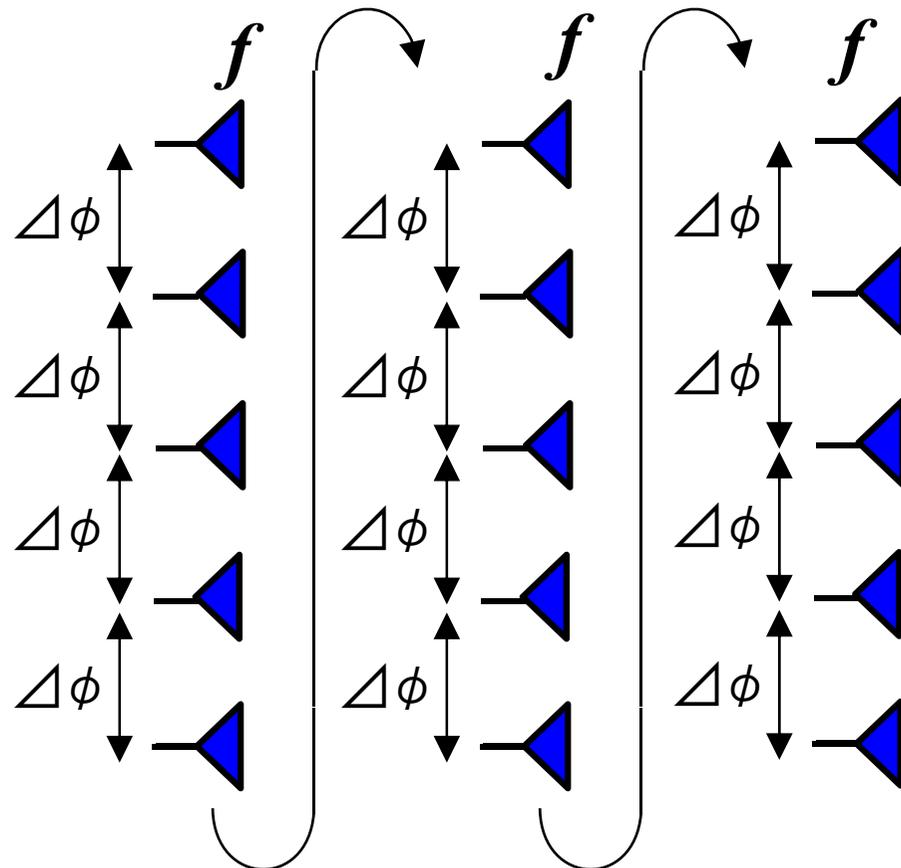
# 実時間遅延(TTD: True-Time Delay)



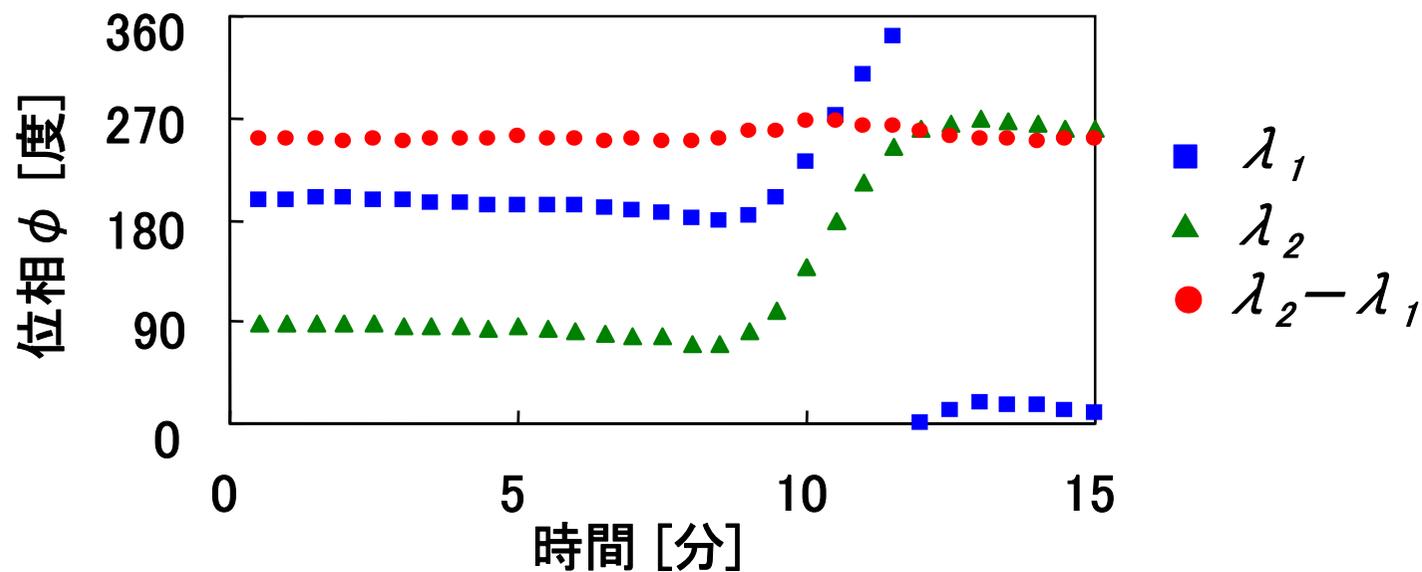
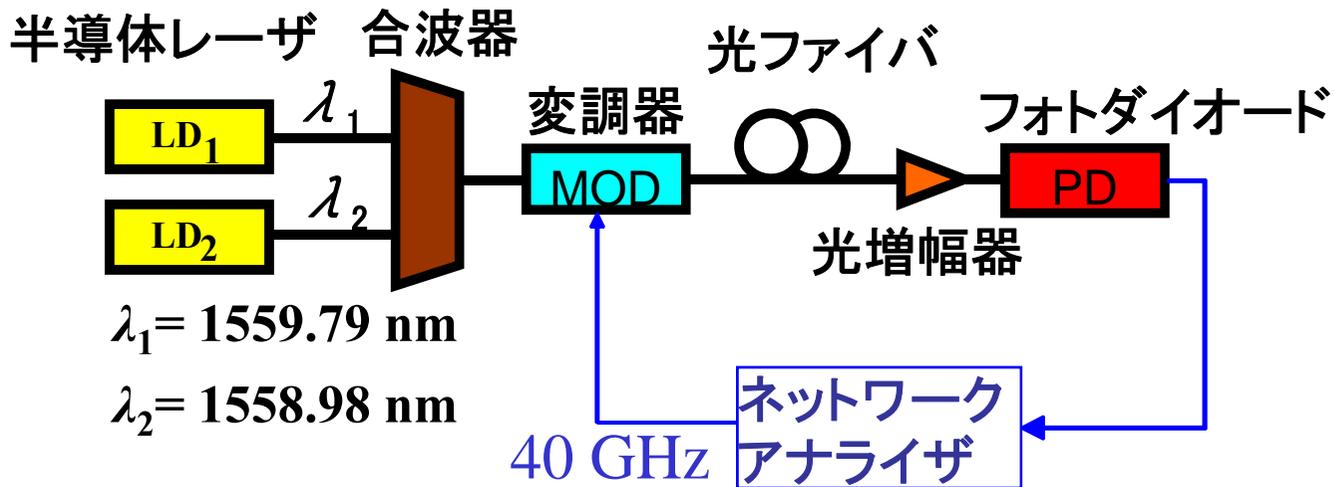
無線周波数  $f_{RF}$  によらず、  
同一方向にビームを向ける  
ことが可能。



アンテナ数が増えて、位  
相差が  $2\pi$  を超えても正  
しい位相を与えられる。

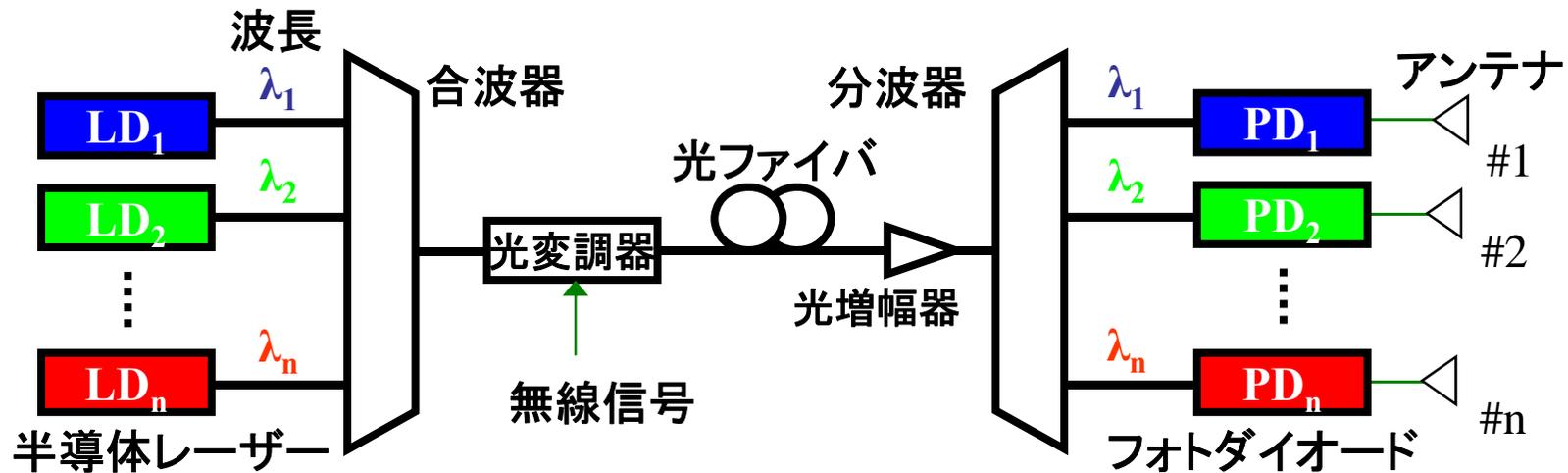
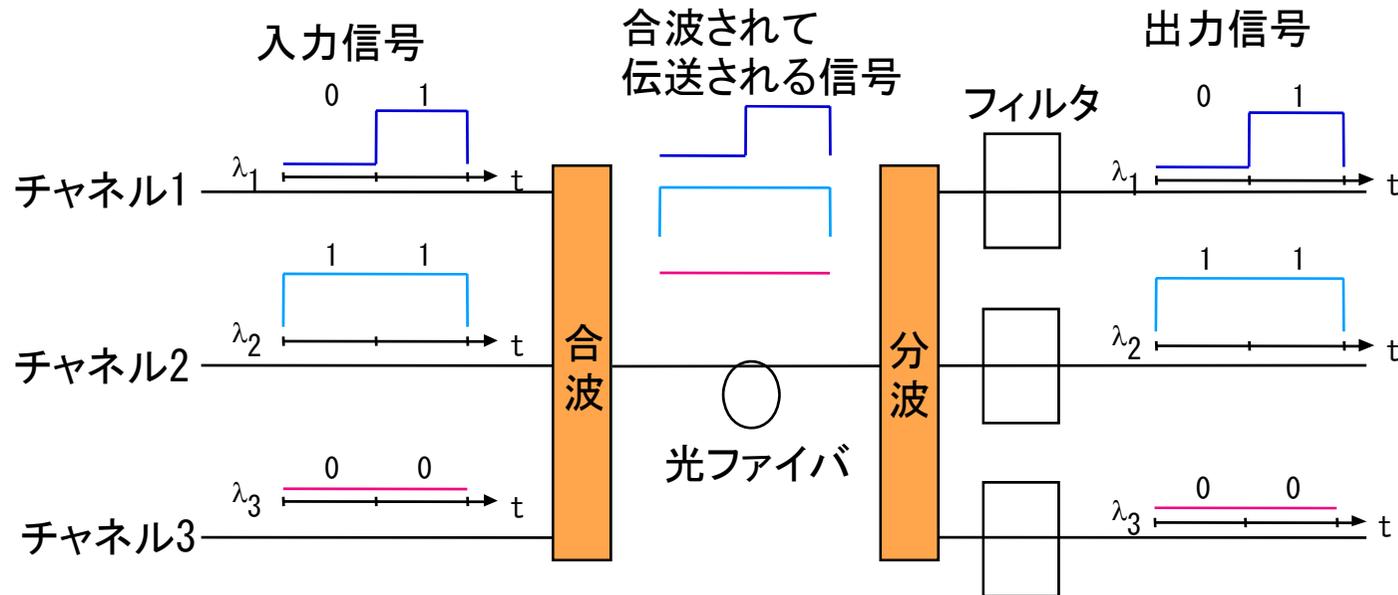


# 温度特性など周囲の環境条件の影響



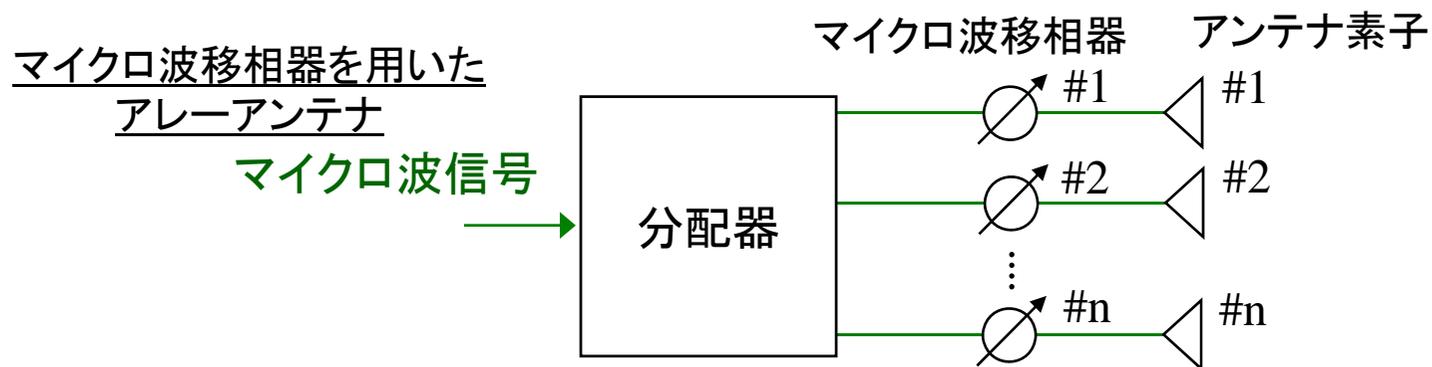
光ファイバを通した40 GHz位相の時間的変化

# 波長多重技術のアレーアンテナへの応用

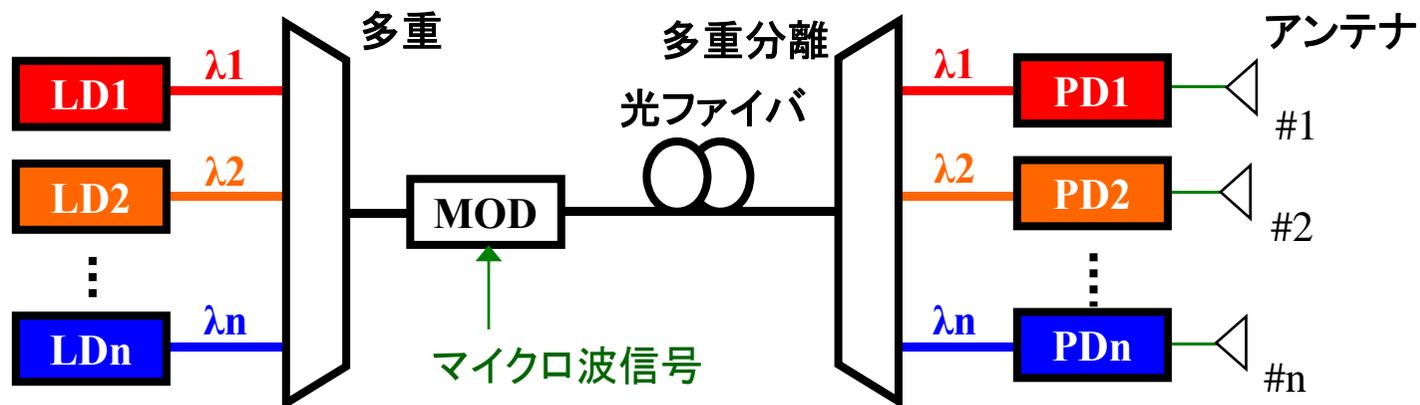


# 光制御アレーアンテナの特長

位相制御を行うための光ファイバがマイクロ波移相器の役割を果たす  
光搬送波の波長を調整することで光ファイバ1本で位相制御が可能

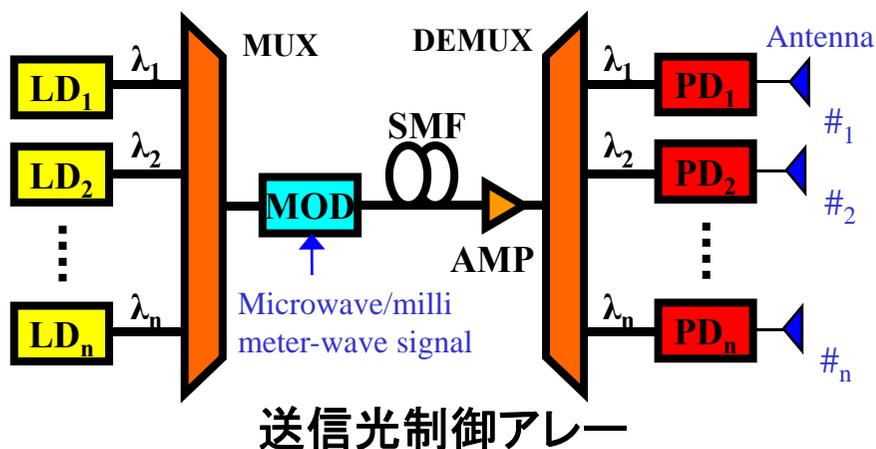


## 光制御アレーアンテナ



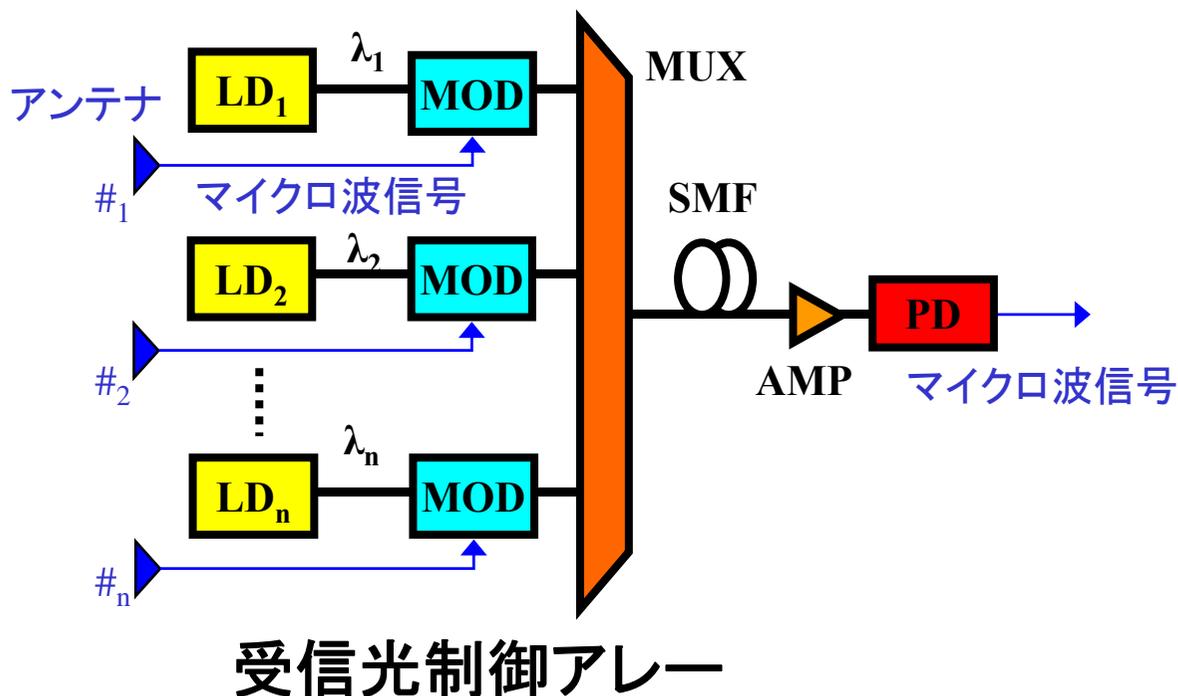
広帯域に安定した位相を得ることが可能

# WDMと単一モード光ファイバ(SMF)の組合せ



## 特長

- ・実時間遅延による広帯域化
- ・温度特性など周囲の環境条件に影響を受けずに安定した位相を実現
- ・送受信共に同じ構成で実現



# SMF中の波長分散に基づく遅延を利用



隣接する波長間の遅延時間差  $\tau_{opt}$

$$\tau_{opt} = -DL \triangle \lambda_{opt}$$

**$D$** : SMFの分散値

**$L$** : SMF の長さ

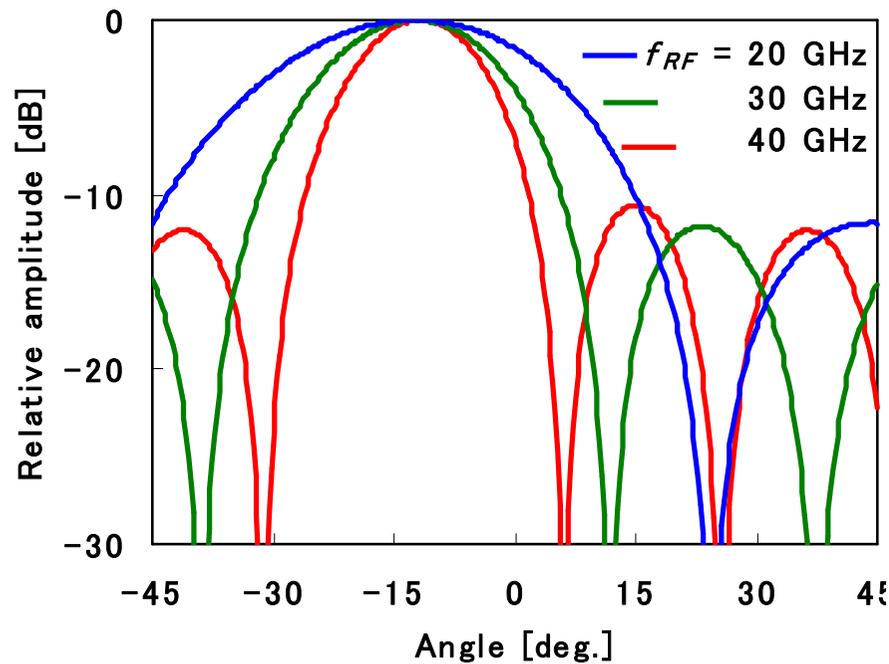
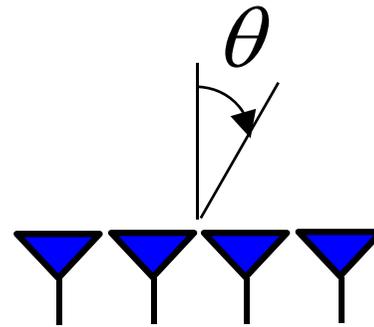
**$\Delta\lambda_{opt}$** : WDM光源の波長間隔

アンテナ素子間のマイクロ波／ミリ波信号位相差  $\Delta\phi$

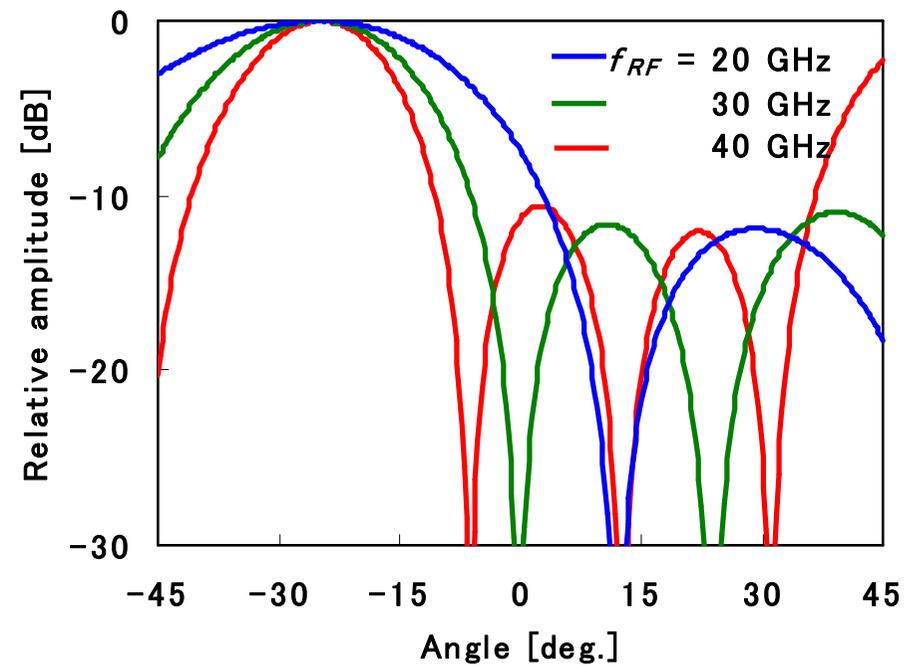
$$\triangle \phi = -2\pi DL \triangle \lambda_{opt} f_{RF}$$

**$f_{RF}$** : マイクロ波・ミリ波無線周波数

# 送信用4素子リニアアレーの20, 30, 40 GHzパターン

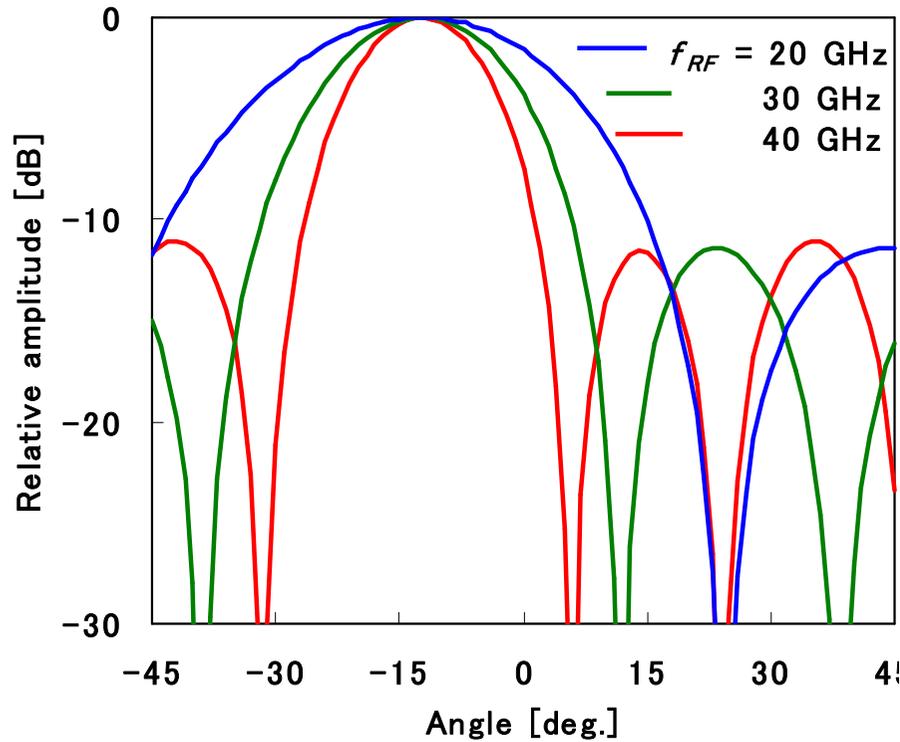


(a) ビーム指向角度  $\theta = -12^\circ$

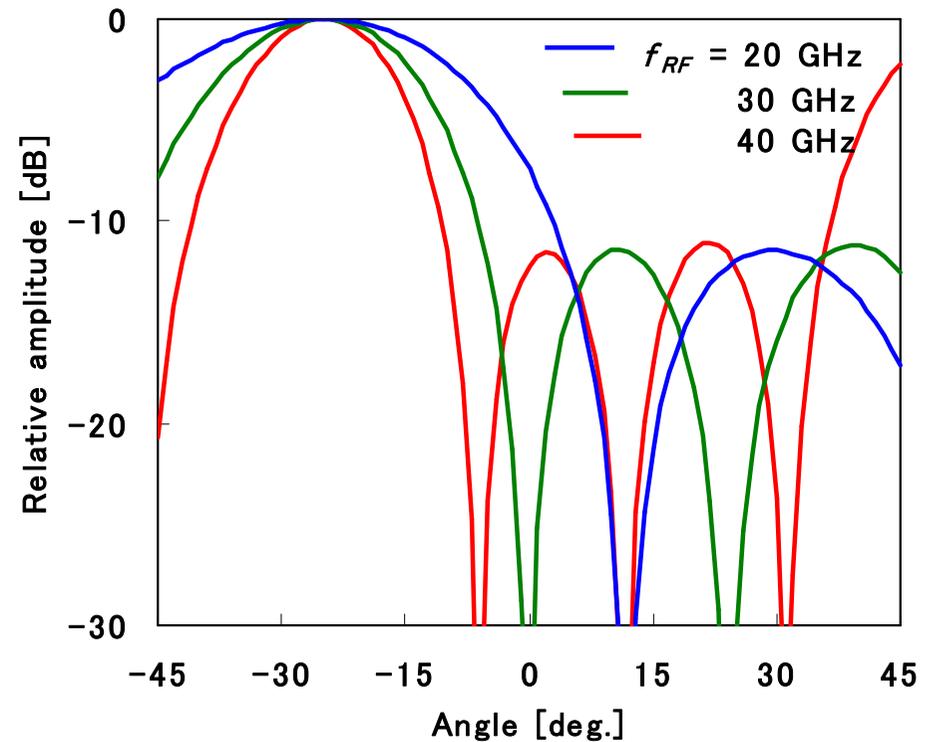


(b) ビーム指向角度  $\theta = -25^\circ$

# 受信用4素子リニアアレーの20~40 GHz指向性

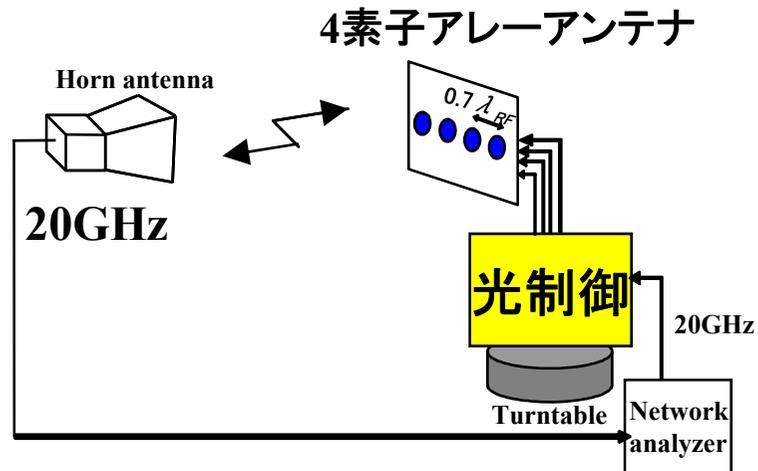


(a) ビーム指向角度  $\theta = -12^\circ$

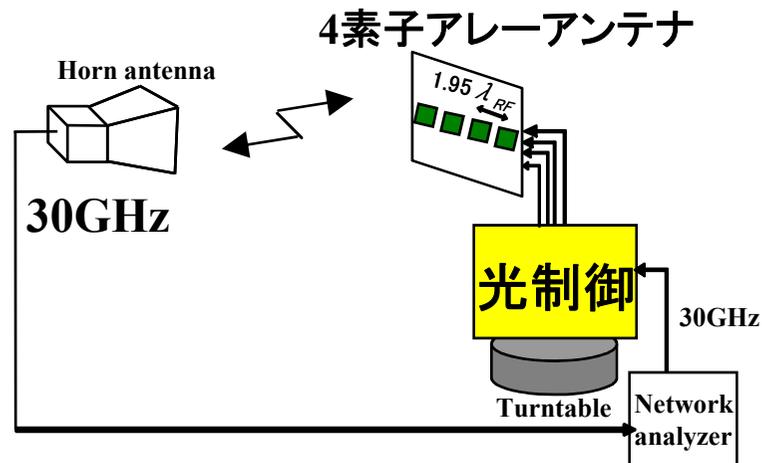


(b) ビーム指向角度  $\theta = -25^\circ$

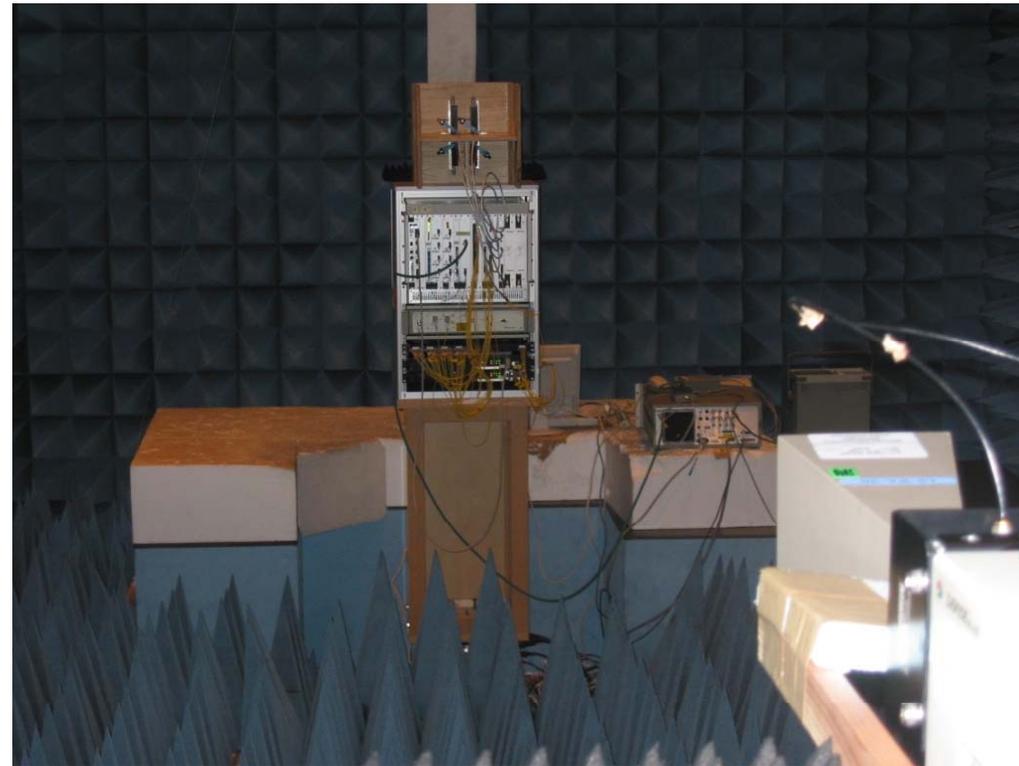
# 20, 30 GHz 送信放射パターンの測定実験



(a)  $f_{RF} = 20 \text{ GHz}$

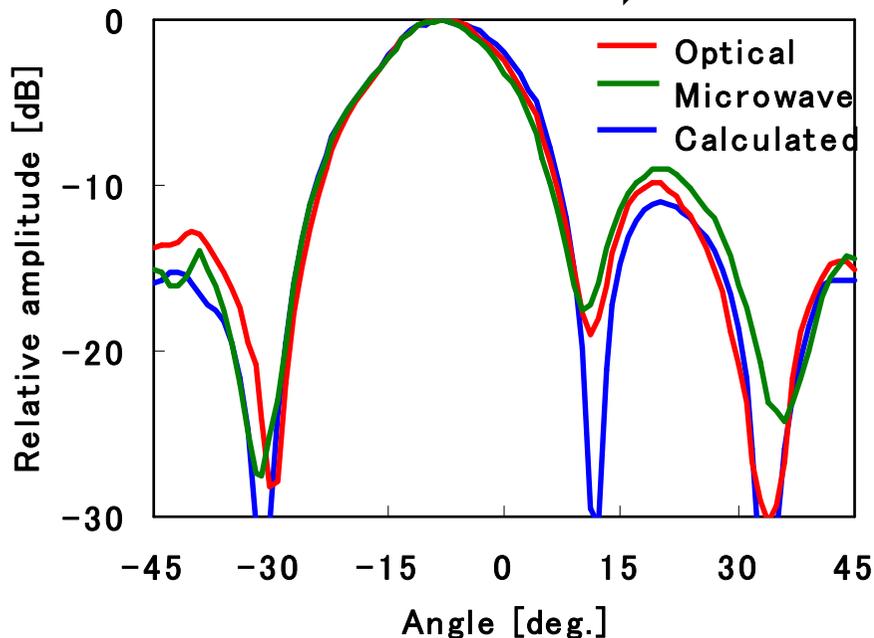
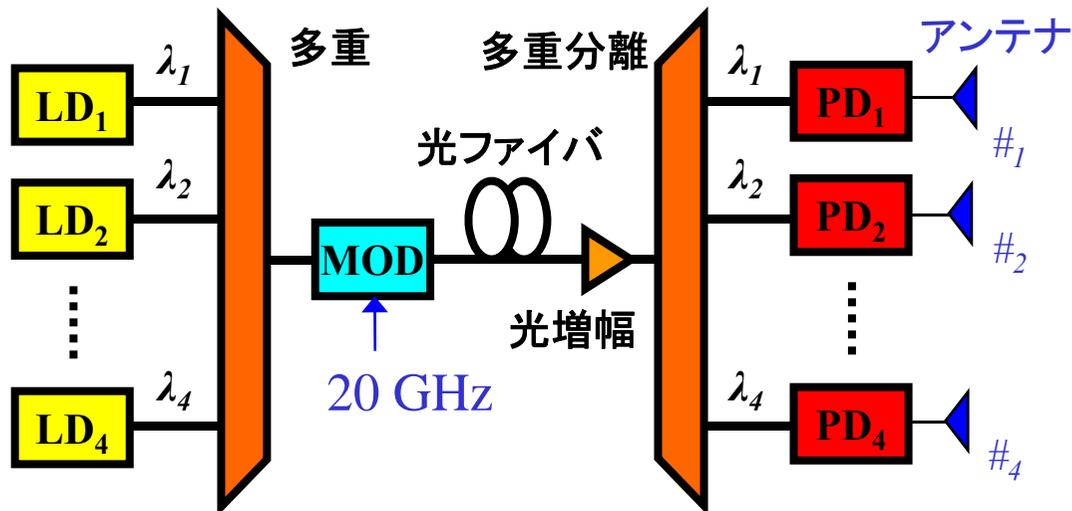


(b)  $f_{RF} = 30 \text{ GHz}$

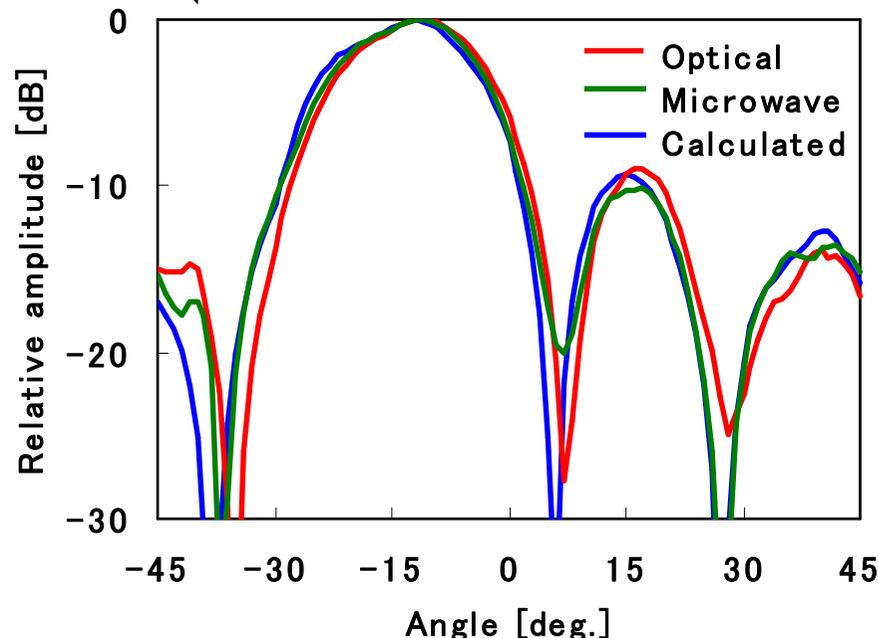


アンテナ放射パターンの測定実験

# 送信用4素子光制御アレーの20 GHz放射パターン

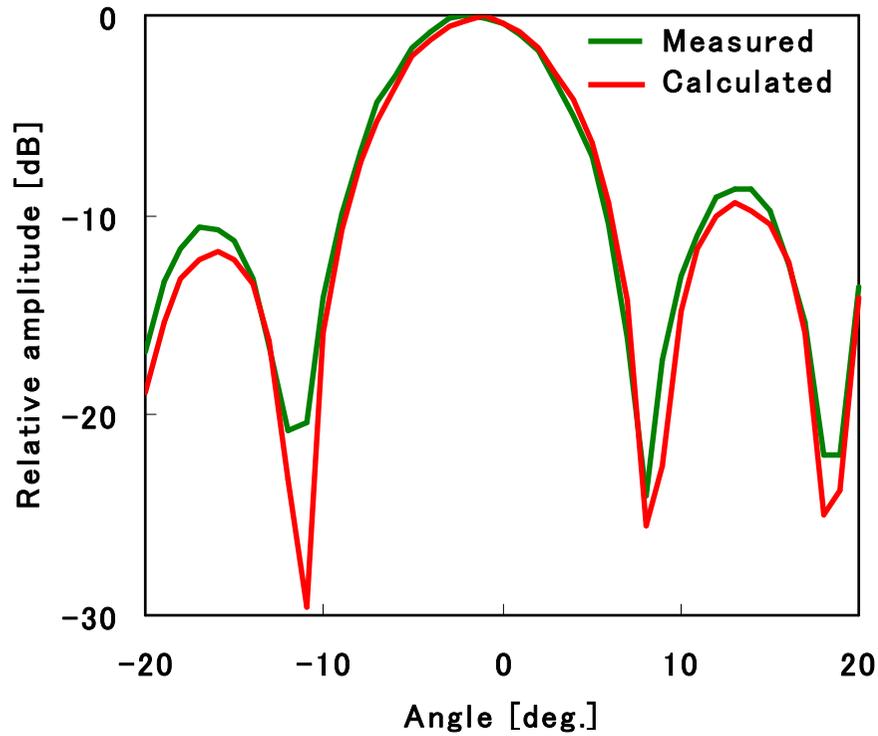


(a) ビーム指向角  $\theta = -8^\circ$

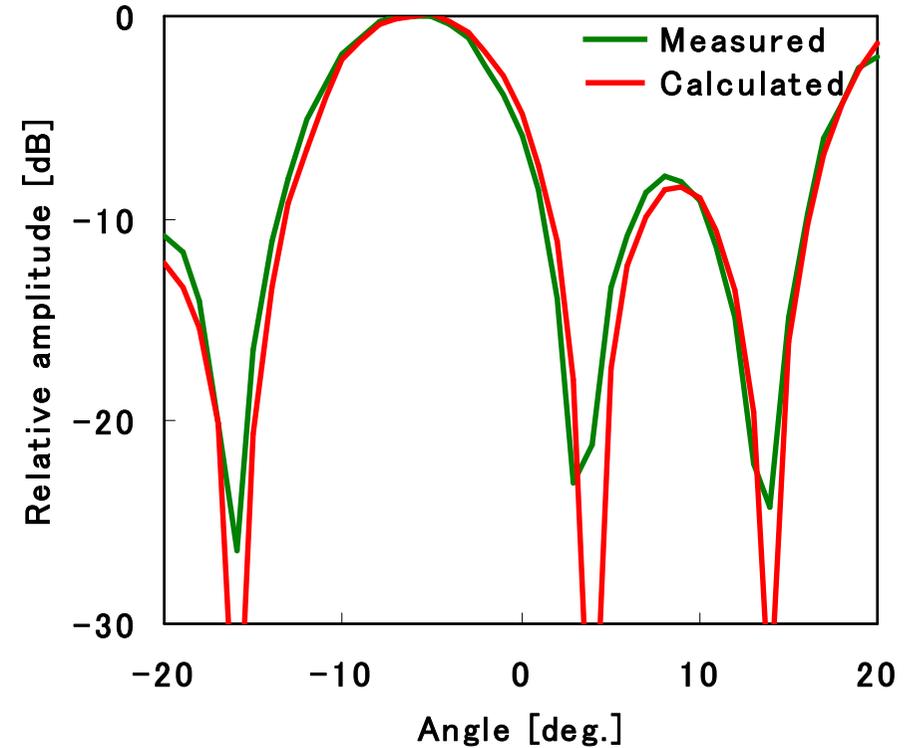


(b) ビーム指向角  $\theta = -12^\circ$

# 受信用3素子光制御アレーの30 GHz放射パターン



(a) ビーム指向角  $\theta = -1^\circ$



(b) ビーム指向角  $\theta = -6^\circ$

# 光電界センサーへの応用の試み



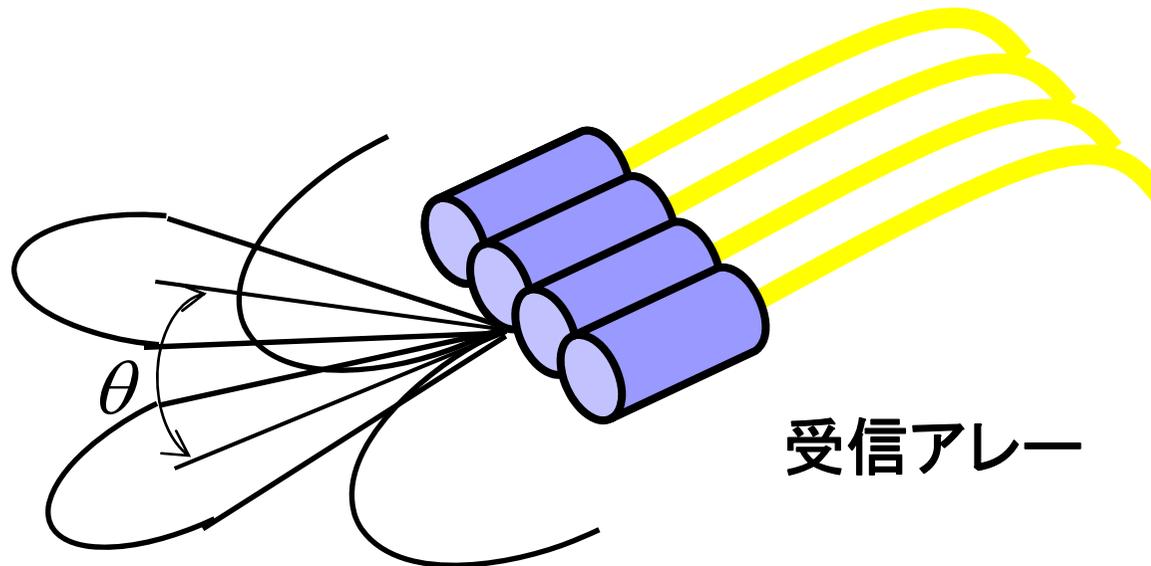
## 光電界センサーの特長

- ・絶縁性
- ・耐電磁干渉性

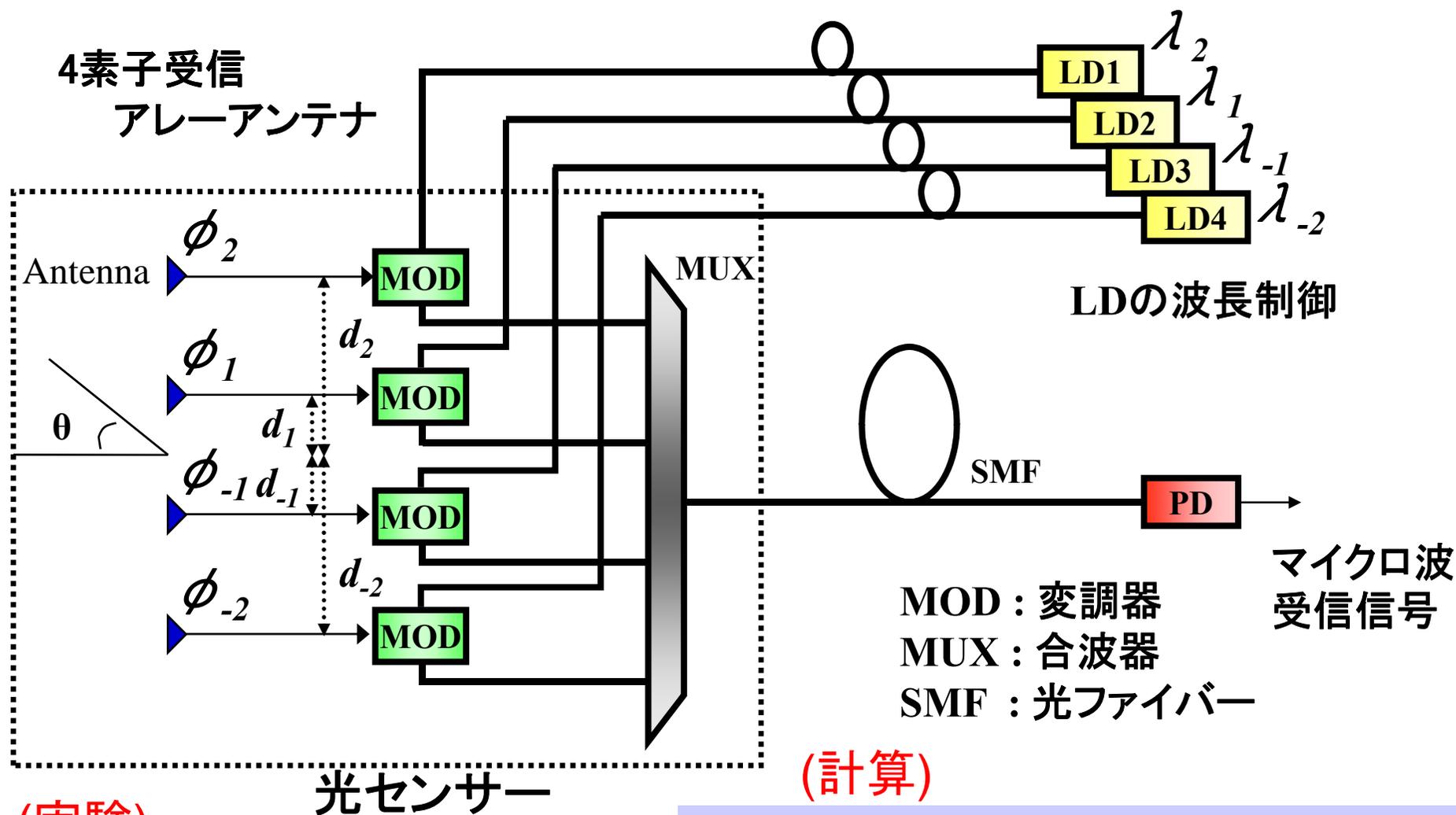
← センサーのアレー化による測定用途の拡大

## 光制御アレー

- ・高周波化
- ・高利得化
- ・高精度化

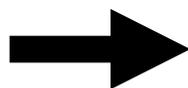


# LDの波長制御によるマイクロ波位相制御



(実験)

各LDの波長制御

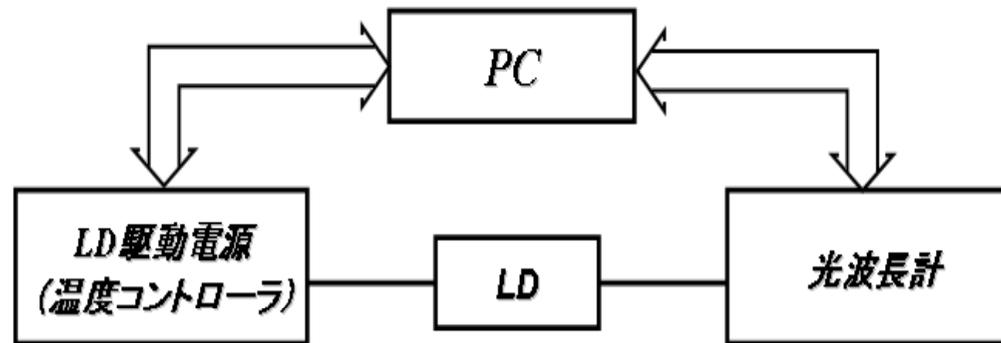


各アンテナ素子の位相を広範囲にわたり高利得、高精度に制御できるか

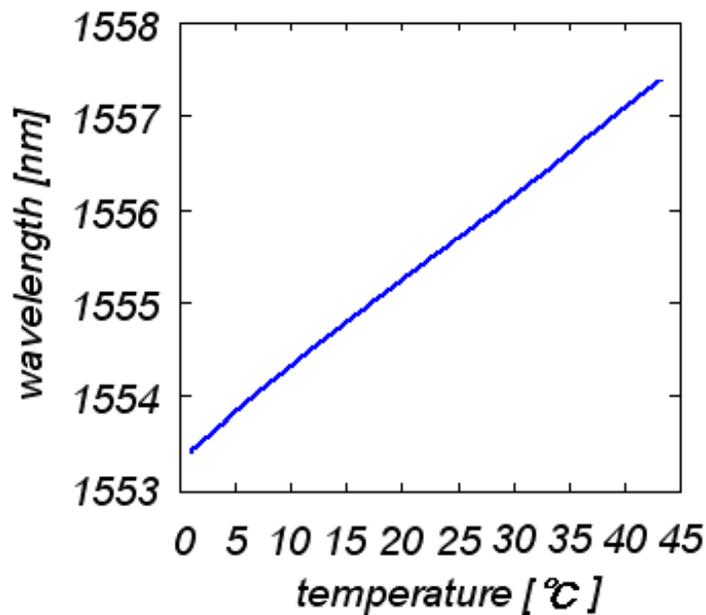
# 温度によるLDの波長制御特性



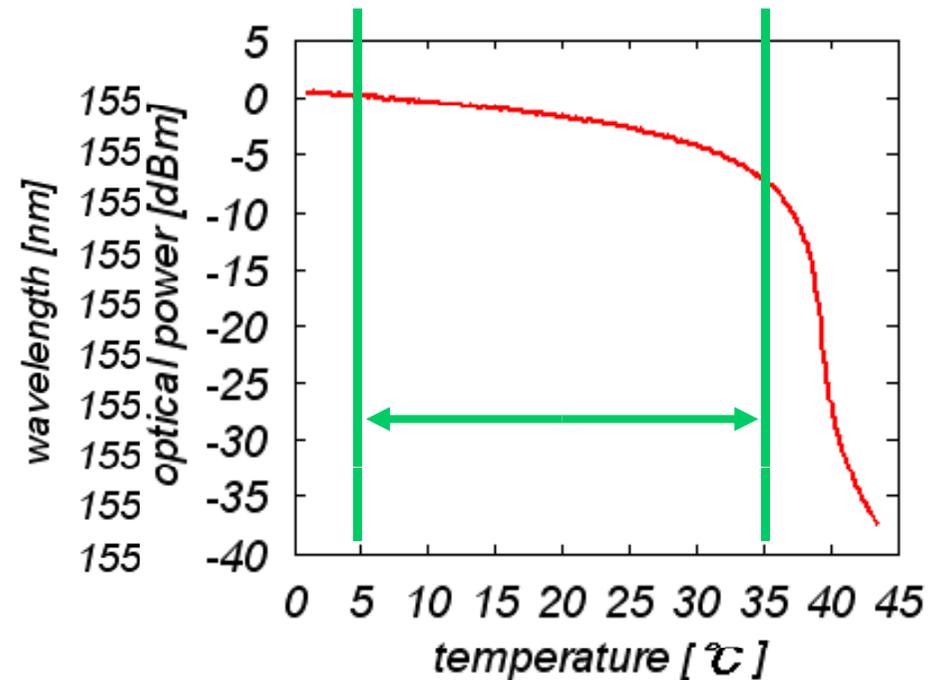
温度可変範囲  
0~45°C  
(間隔:0.1°C)



光波長と光強度  
の測定



(a) 温度-波長特性

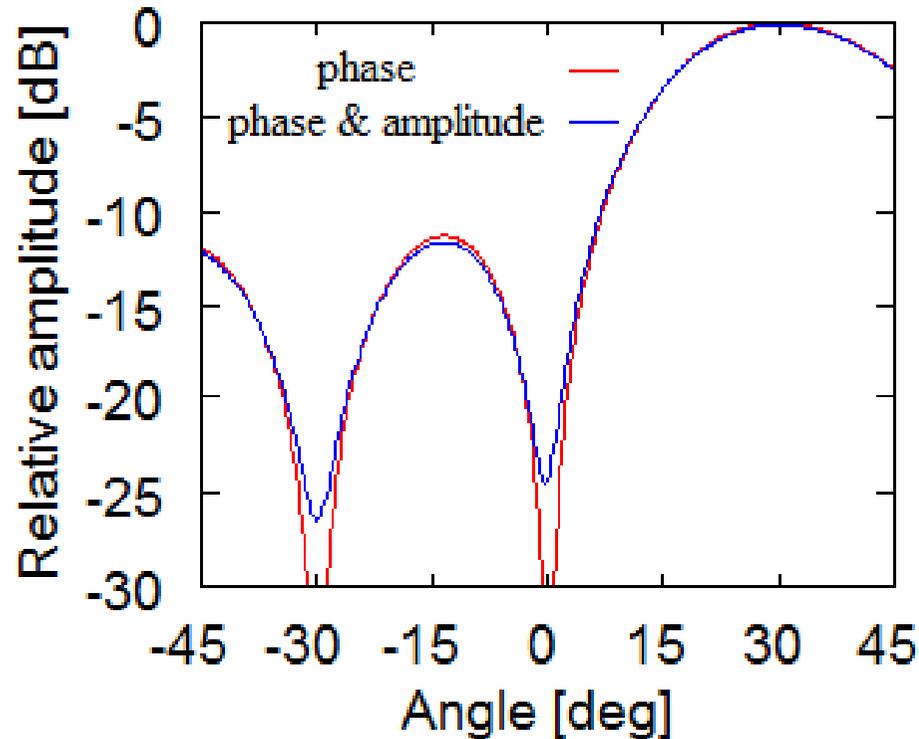


(b) 温度-光強度特性

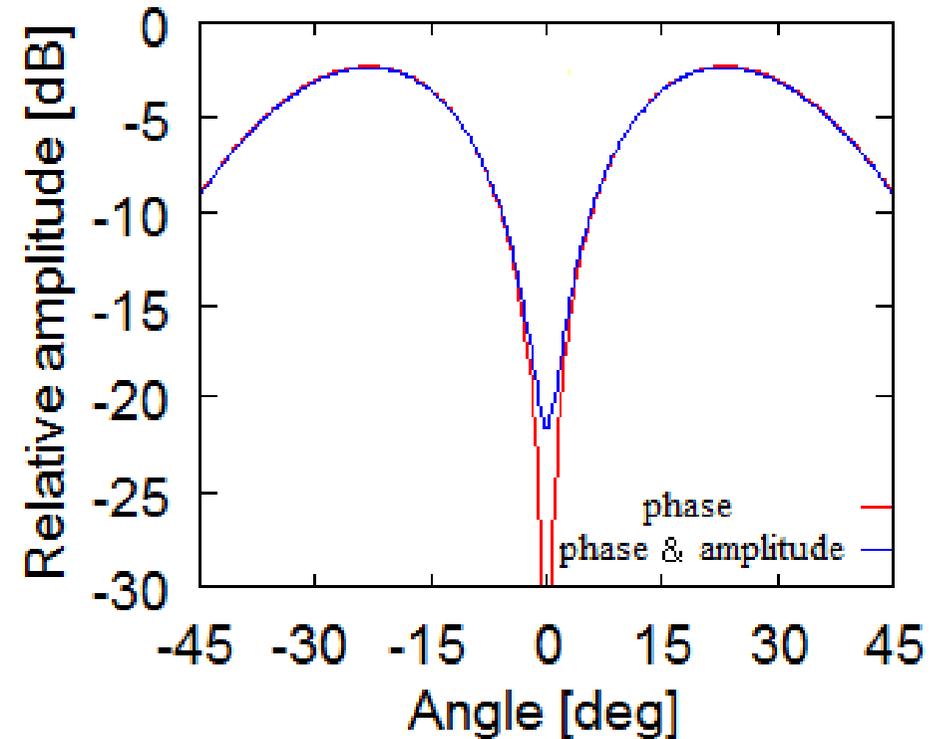
# 光強度特性を考慮した4素子放射パターン



無線周波数  $f_{RF} = 3 \text{ GHz}$



和パターン  $\theta = 30^\circ$



差パターン  $\theta = 0^\circ$



# 3. 衛星通信伝搬実験

# 日本における宇宙通信の始まり

## ・世界初のオリンピック衛星中継(1964年)

シンコムⅢ号による東京オリンピックのTV中継



シンコムⅢ



当時の30 m パラボラ



建設中の30mパラボラアンテナ(1963年)



鹿島宇宙通信センター

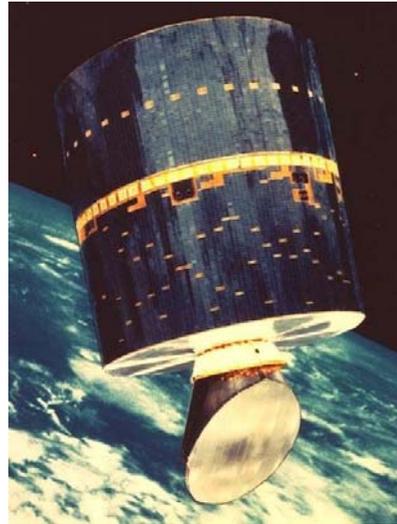
米国側受信映像



米国側受信映像

# 通信衛星CS, 放送衛星BS, 技術試験衛星ETSの開発

CS 衛星  
(さくら)



BS 衛星  
(ゆり)



技術試験衛星 V (きく5号)  
移動体衛星通信実験



技術試験衛星 VI (きく6号)

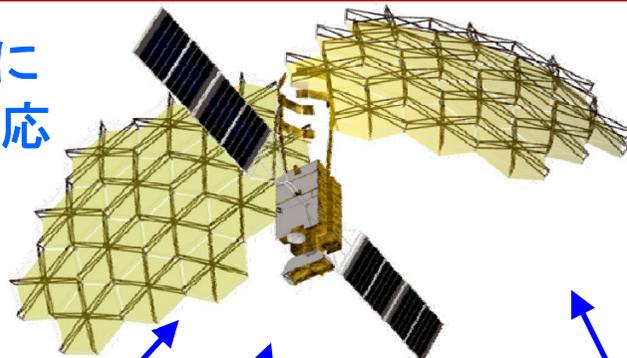


COMETS通信・放送実験

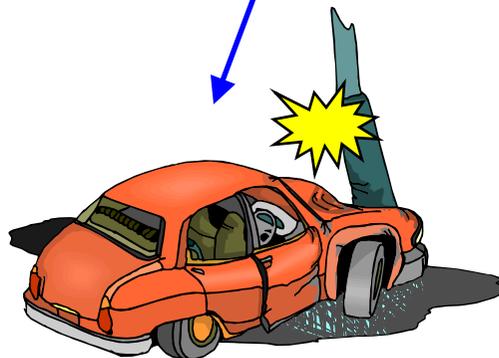
# 技術試験衛星Ⅷ型(きく8号)

大型静止衛星により今までになかった多彩な宇宙通信の応用が実現

平成18年12月打上げ  
高度36000 km  
大きさ40m、重さ3トン



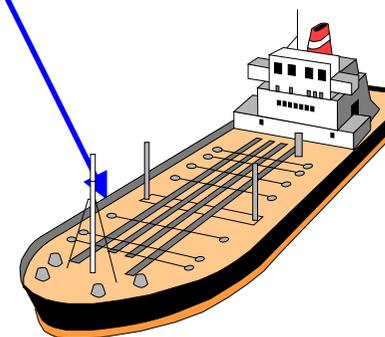
災害情報、  
安否情報等



非常時通信



移動体衛星小型端末



移動体衛星  
データ通信

# 将来の衛星通信用携帯電話

## 地上／衛星共用携帯電話 システムの検討



内蔵アンテナ



衛星方向の表示



# 超高速インターネット衛星(WINDS)

平成20年2月打上げ



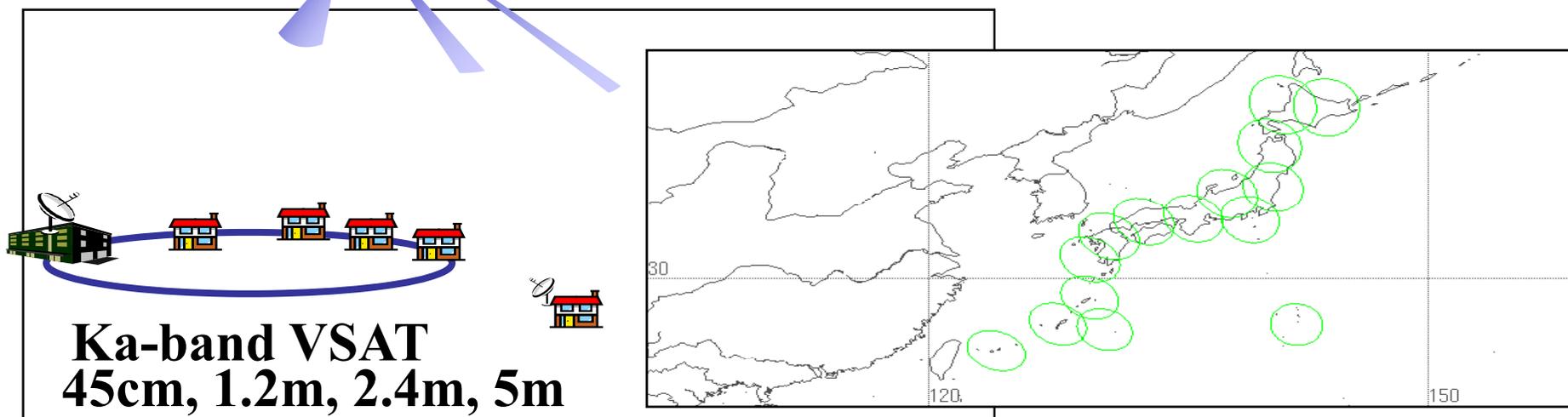
## 目的

◆超高速衛星通信技術の構築により、過疎地やアジア太平洋地域のデジタルデバイド解消の実現。

## 成果

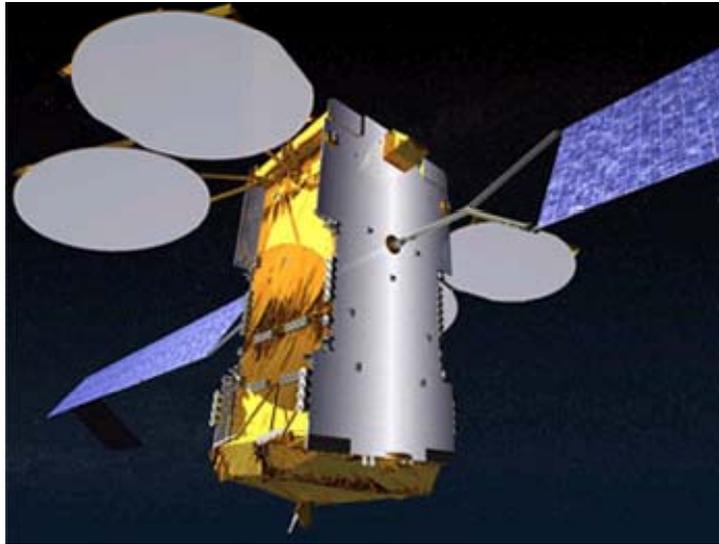
◆ギガビット級衛星通信を可能にする世界最高速の搭載用ATM交換機(155Mbpsx3系統)の開発。

◆WINDS地球局用622Mbps高速モデムの開発。



- 155 Mbps/1.5 Mbpsによる高速・同報通信
- 155 Mbps 高速対称通信
- 600 Mbpsによる高速インターネット

# Ka帯30/20 GHzブロードバンド衛星の需要



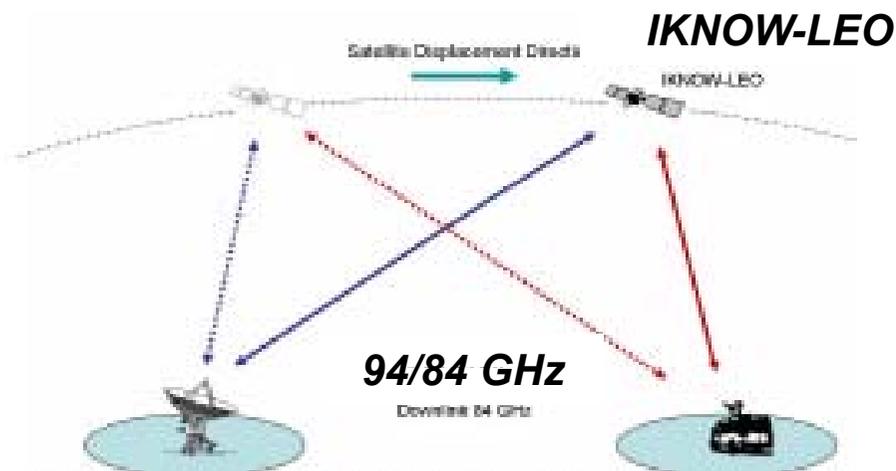
ヨーロッパでは、Eutelsatが2010年にKA-SATを打上予定。80ビームを超えるマルチビームで、70 Gbit/sを超えるスループットを実現。



北米では、ViaSatが2011年にViaSat-1を打上予定。現在の10倍以上の容量を実現。

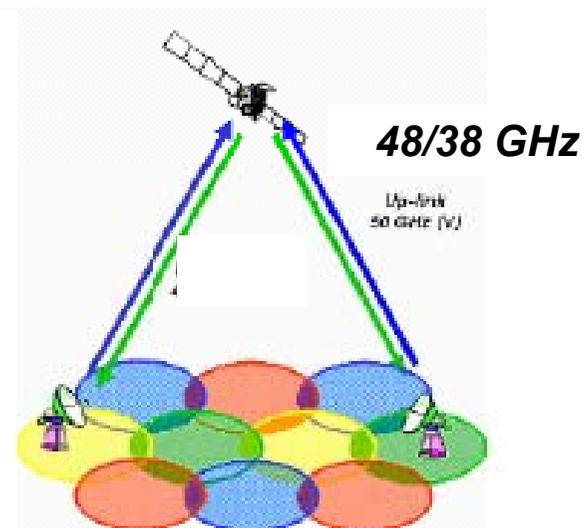
# ヨーロッパのミリ波通信衛星開発の動向

WAVE (W band Analysis and Verification)



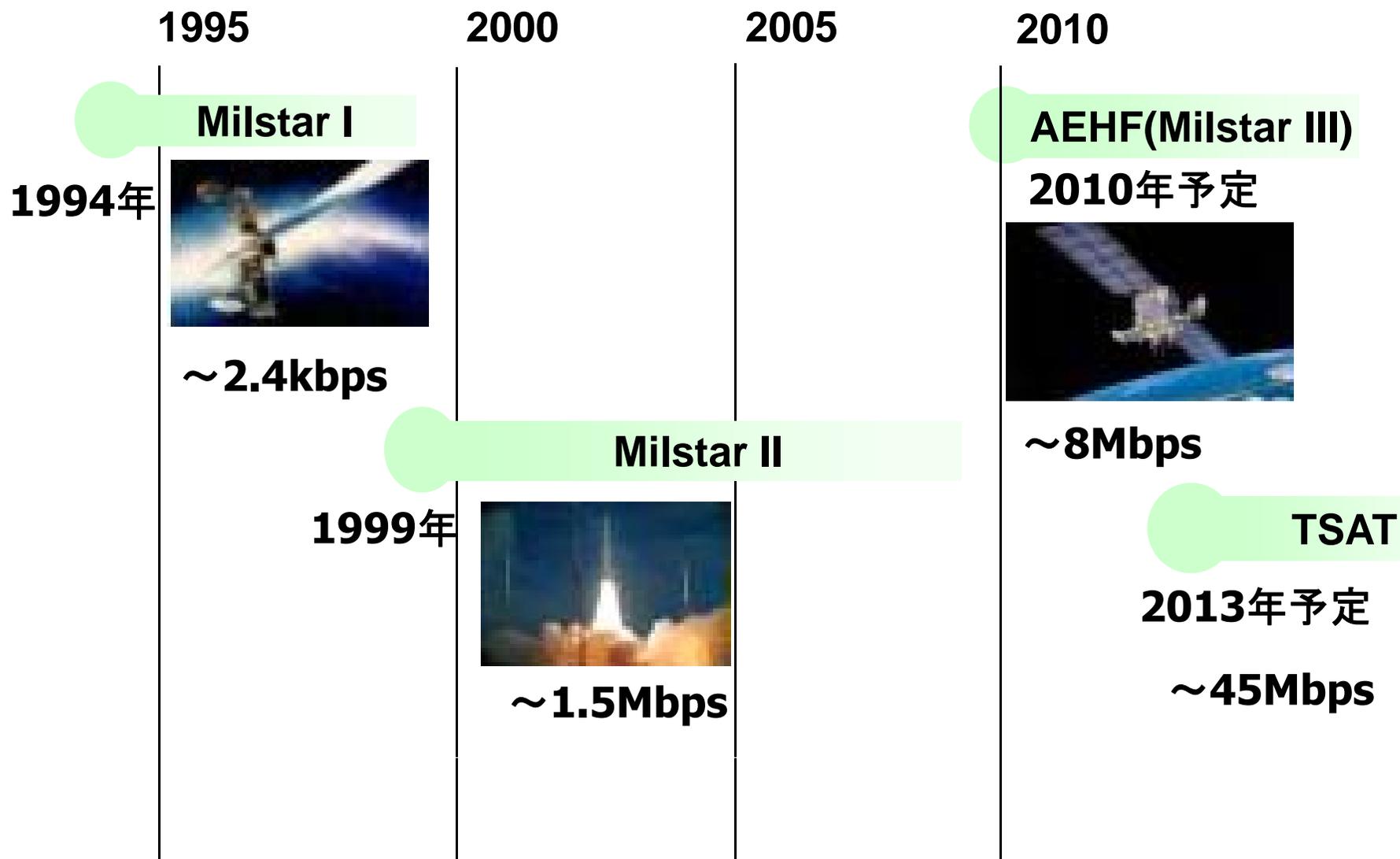
W帯の通信衛星プロジェクト。  
第2フェーズでは、低軌道に  
IKNOWと呼ばれるW帯の小型  
衛星を打上げる計画。

Alphasat Q/V-band mission



Q/V帯の通信衛星プロジェクト。  
通信・伝搬実験を行う衛星計画。

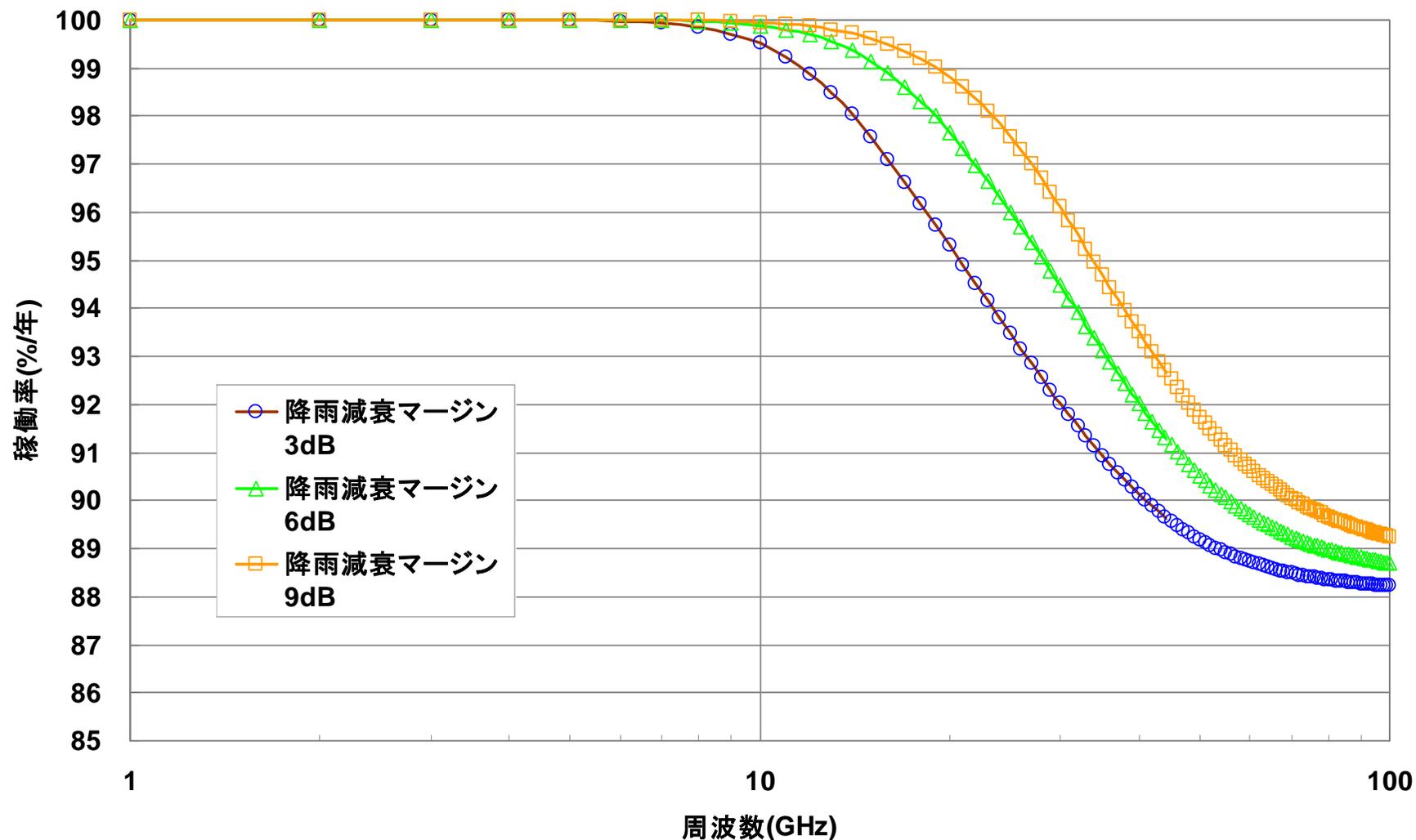
# 米国のミリ波通信衛星の動向



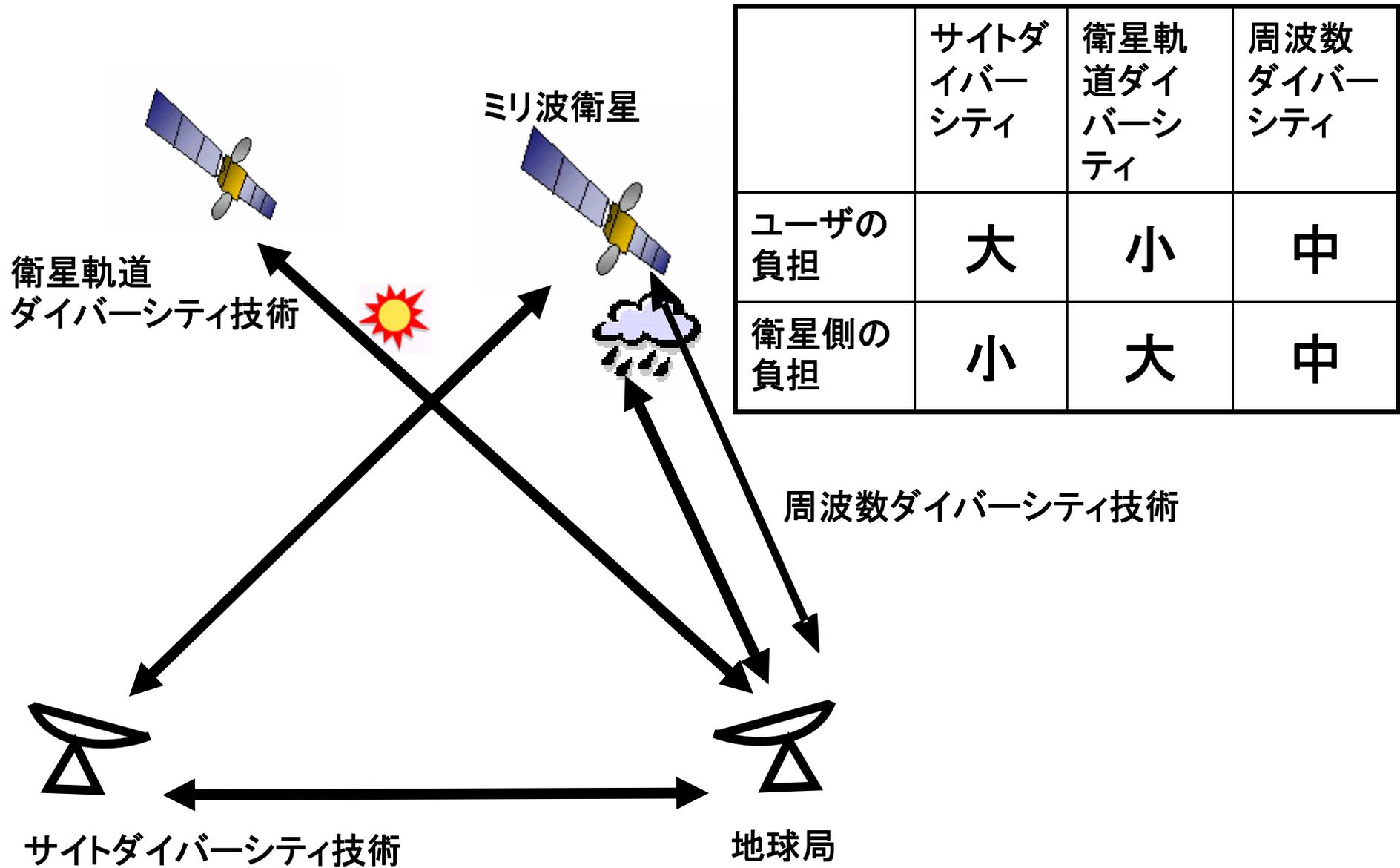
# 衛星通信用周波数と回線稼働率



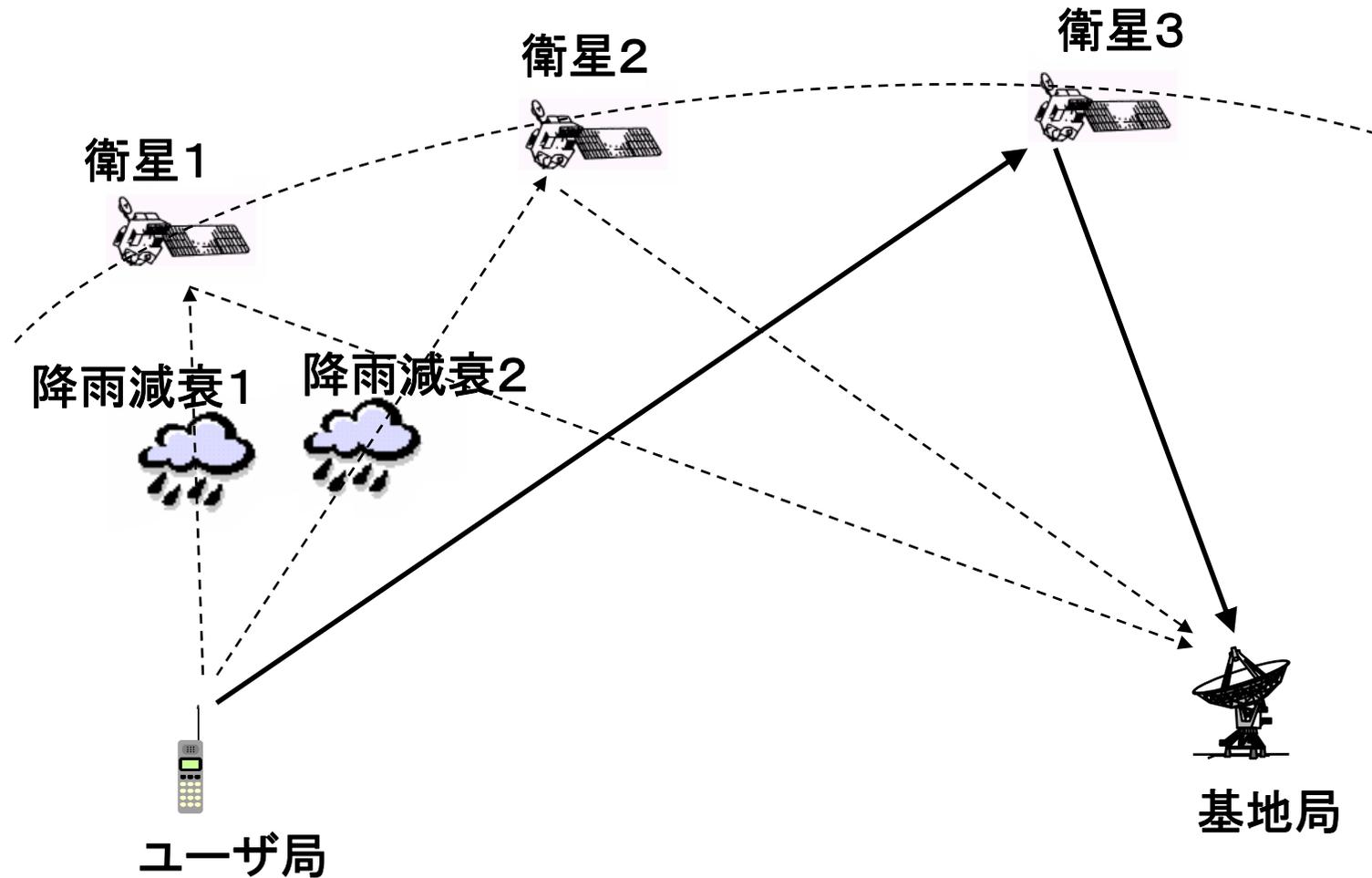
## 降雨減衰克服技術が必要



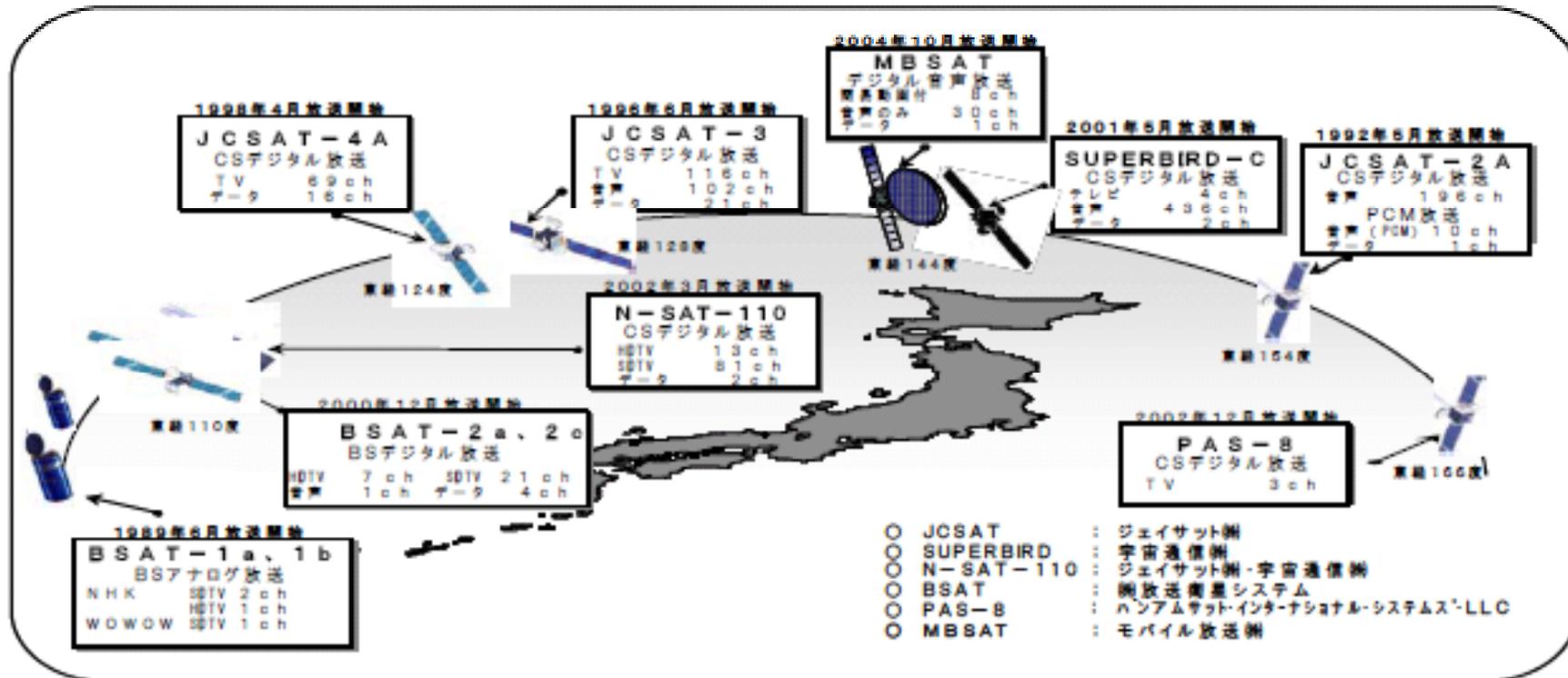
# ダイバーシティ技術の比較



# 衛星軌道ダイバーシティ技術の開発



# 日本の放送衛星



(2006年8月末現在)

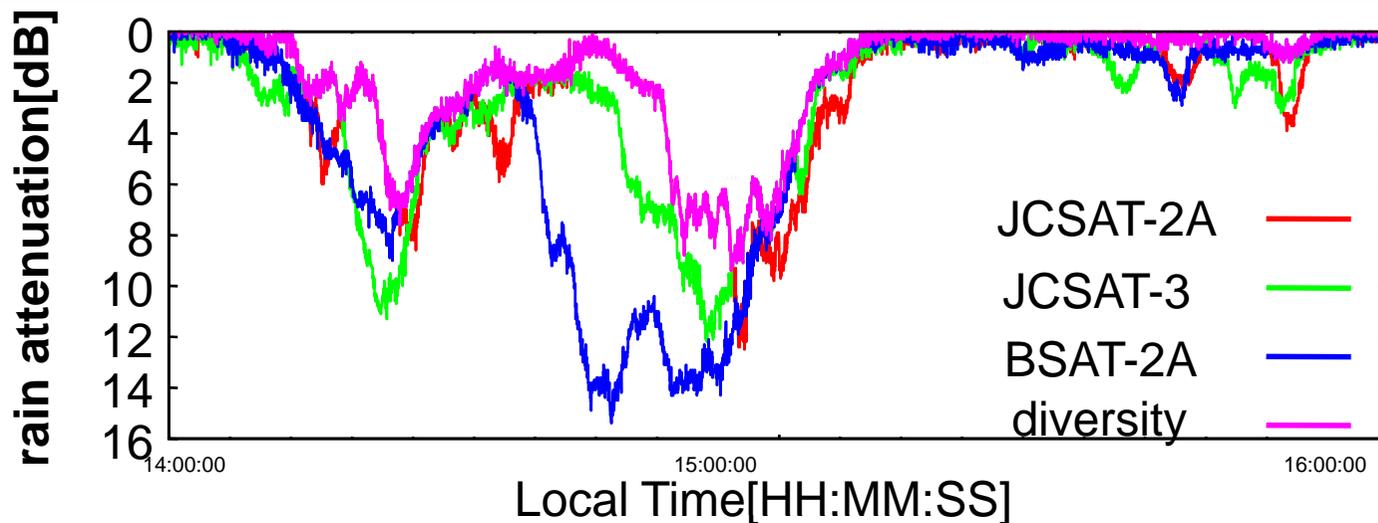
# 放送衛星波による軌道ダイバーシティ効果の確認



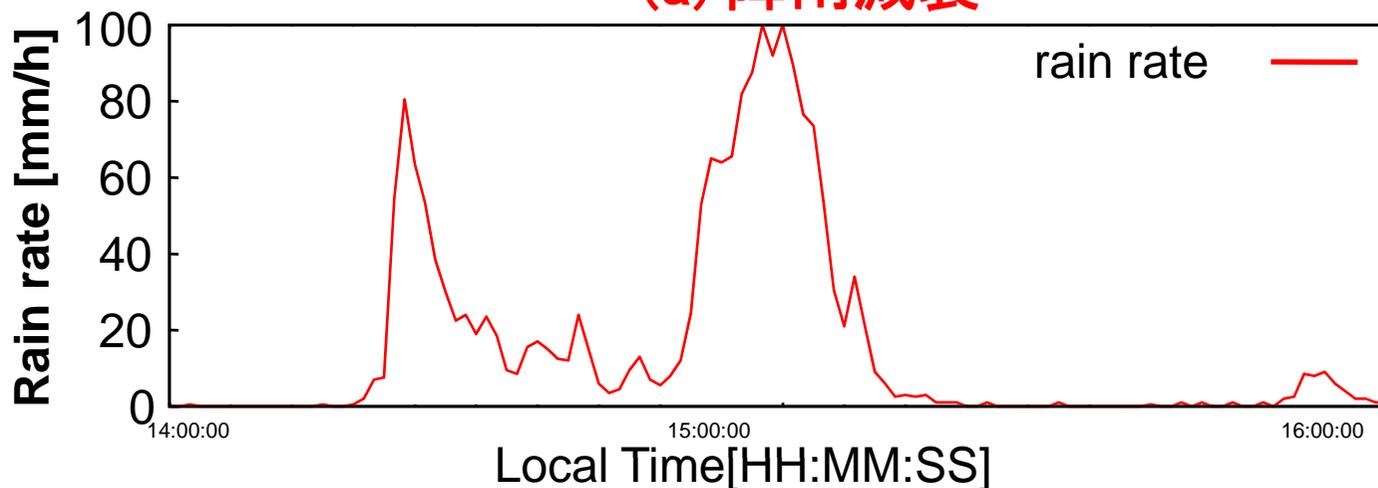
JCSAT-2A  
JCSAT-3  
BSAT-2A

衛星放送波受信用アンテナ

# 12GHzの降雨減衰と降雨強度データの観測例

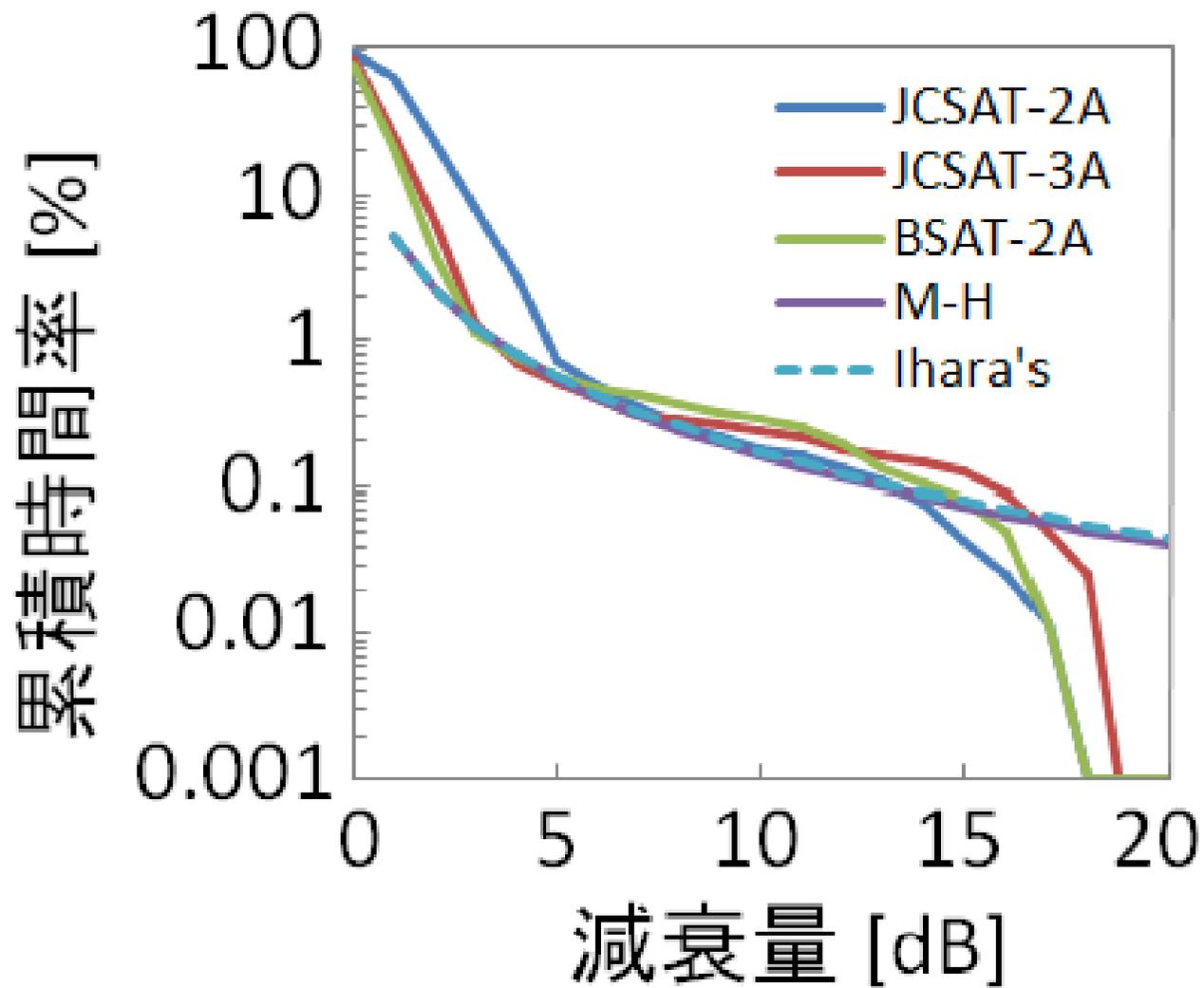


(a) 降雨減衰



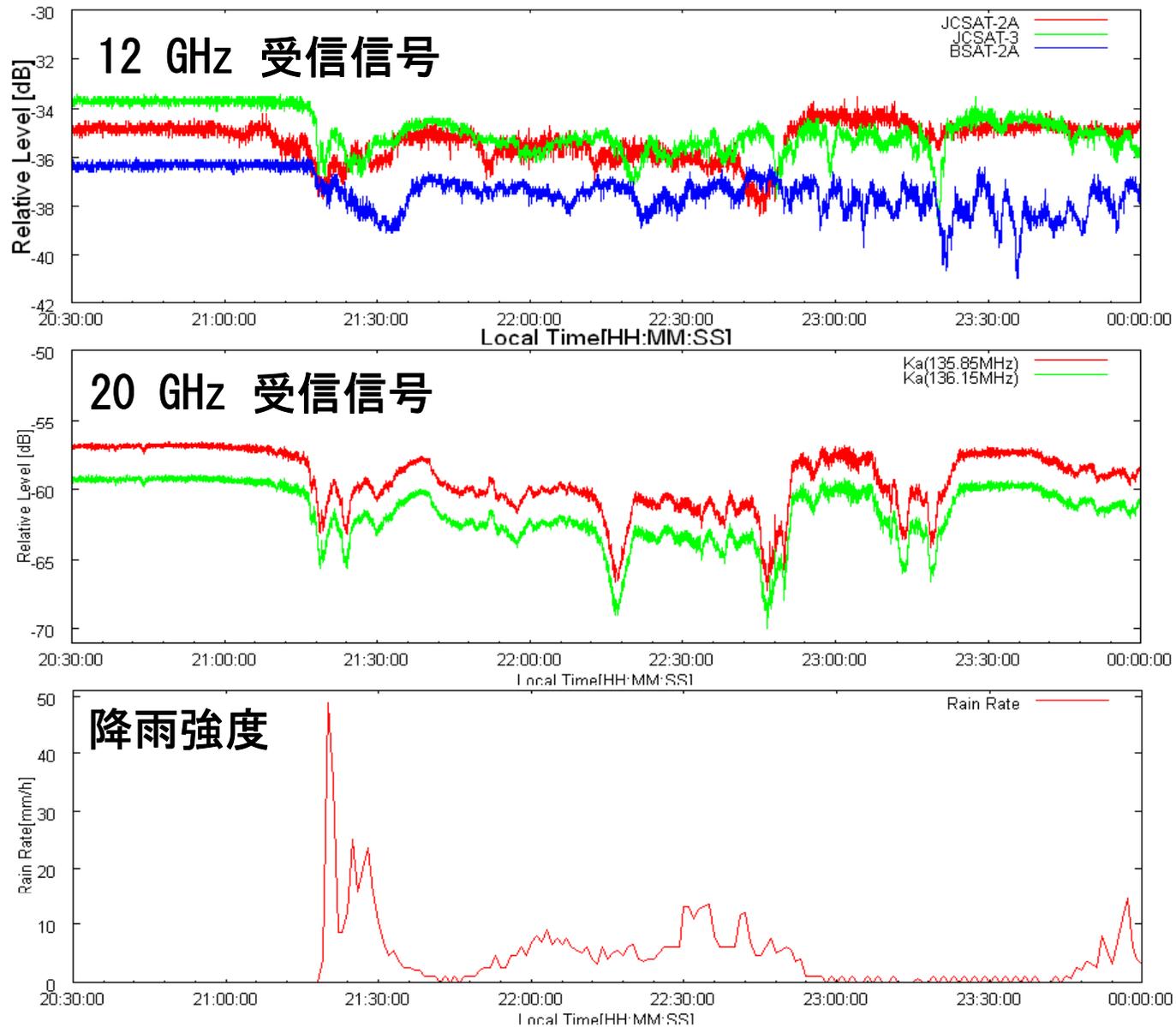
(b) 降雨強度

# 12GHz降雨減衰量の観測値と理論値の比較

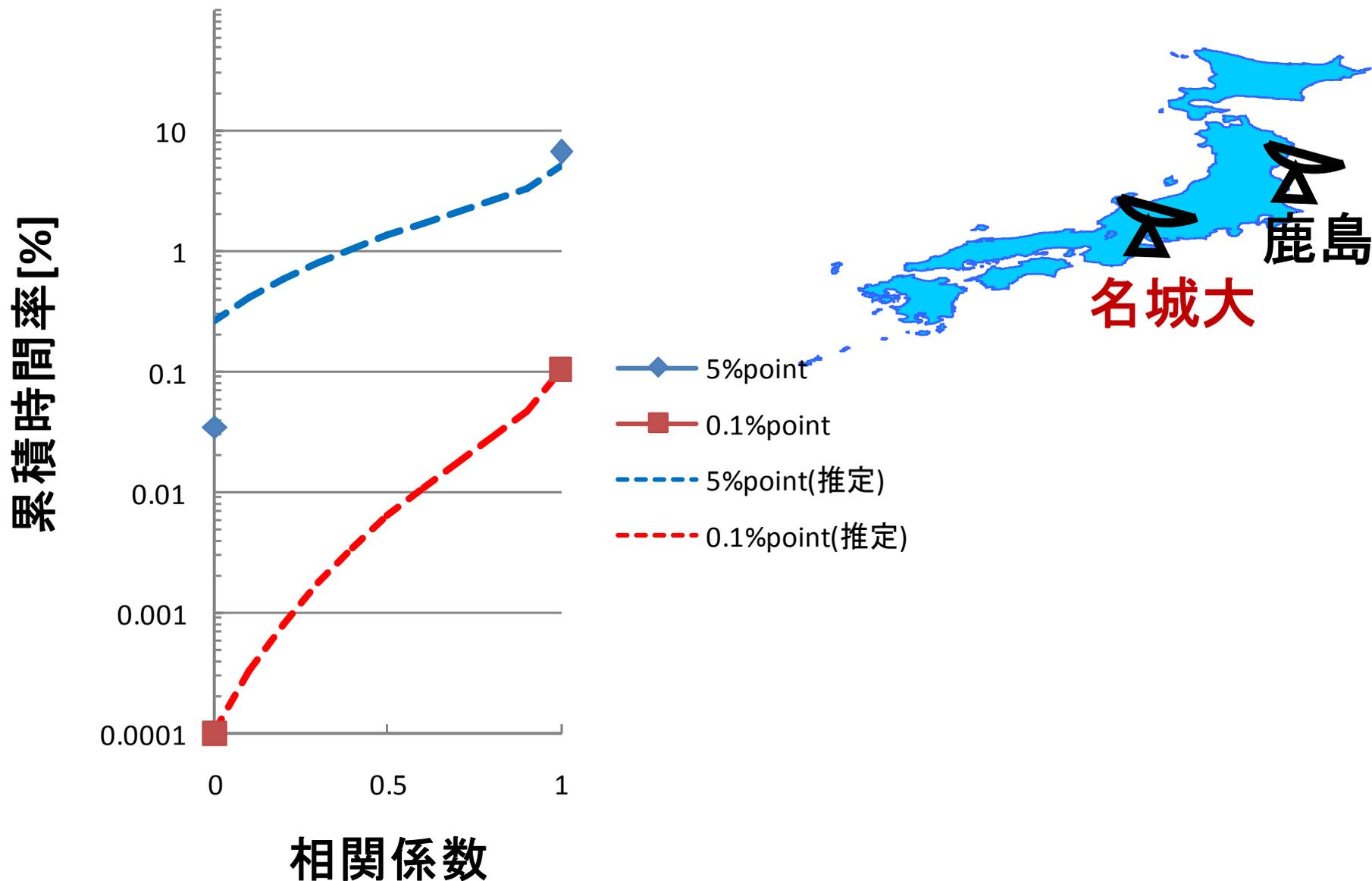




# ETS8, WINDSを用いた周波数ダイバーシティの確認



# サイトダイバーシティ効果の確認



# 今後の展開



## 光技術と無線技術の融合を目指して

### 光制御アンテナおよびフェーズドアレー

- ・ミリ波高周波化, 高利得・広帯域化, 高精度化技術

### 光によるマイクロ波・ミリ波計測

- ・テラヘルツ波と応用
- ・光無線応用
- ・宇宙応用

### 衛星通信伝搬実験

- ・ミリ波高周波化, 伝搬技術, 信号処理技術