

# NICTにおける リモートセンシング技術と データ利活用



第2回 宇宙 x ICTに関する懇談会

平成28年12月20日

国立研究開発法人 情報通信研究機構

経営企画部 企画戦略室

中川 勝広



# 本日の内容

---

- ✓ リモートセンシングとは
- ✓ 我が国のリモセンにおけるNICTの役割
- ✓ NICTにおける宇宙用センサーに関する取り組み
  1. TRMM、GPM
  2. EarthCARE
  3. JEM/SMILES

---

  4. ドップラーライダー
  5. uvSCOPE
- ✓ データ利活用

# リモートセンシングとは？

- 対象を遠隔から計測、判別する手段

Remote Sensing (リモートセンシング)  
= Remote (遠隔) + Sensing (計測、判別)

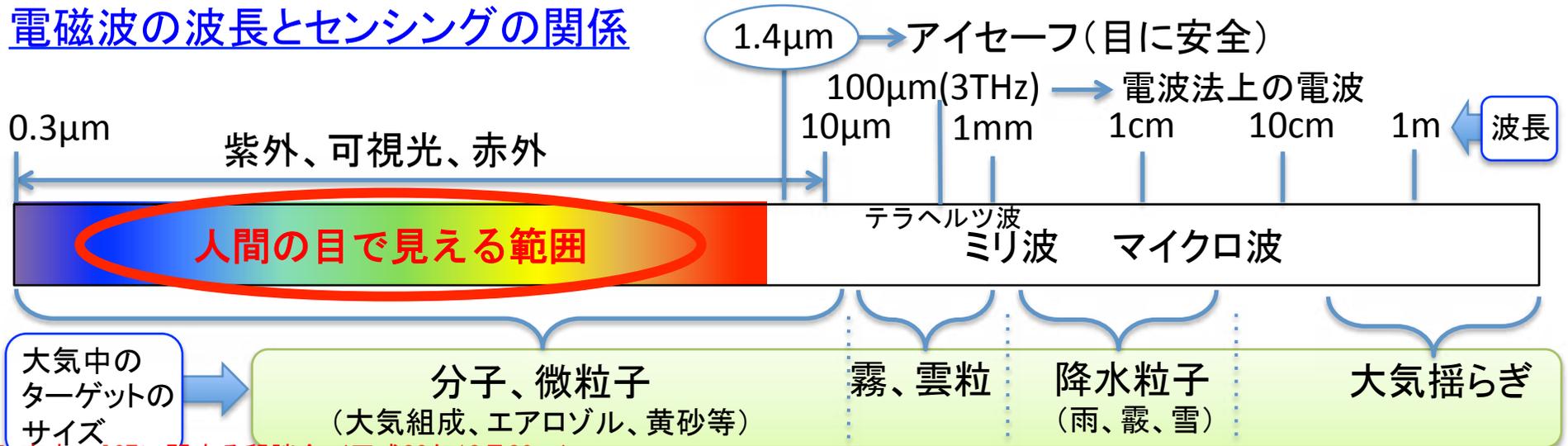
- 身近な例：レーダー、人工衛星センサー（ひまわりなど）...
  - 自分で電磁波を出して距離と対象の性質を測る代表格がレーダー（能動センサー（アクティブセンサー））
  - 対象が発する電磁波を観測する代表格が放射計や画像センサー（受動センサー（パッシブセンサー））
- いずれも、電磁波を検出（受信）して信号処理する技術が鍵
- また、レーダーなどの能動的センサーでは、安定で質の良い電磁波を出す技術が鍵

# 周波数（波長）によって何が違うのか？

➡ 見えるものが違う  
 (大気観測を例に)

- マイクロ波  
 降水粒子（雨、霰、雪など）
- ミリ波  
 雲粒など
- テラヘルツ波  
 大気組成（化学組成固有の特徴が見える）
- 光  
 微粒子（PM2.5など）、大気組成

## 電磁波の波長とセンシングの関係



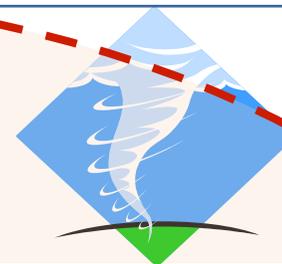
# 目的に応じた観測プラットフォームの選択

災害をもたらす様々な気象現象とその時間・空間スケール

風の観測の重要性

## 地上での観測

□ 数百m  
数分～数十分



前兆及び本体のリアルタイム追跡観測の重要性。

□ 数km～数十km  
数時間 → 積乱雲



雲を形成する気流（風）の把握の重要性。

□ 数十km～数百km  
数時間～数日 → 集中豪雨



進路等予測のための広範囲の風の把握の重要性。

□ 数百km  
数日～1週間 → 前線  
台風



## 宇宙からの観測



# 本日の内容

---

- ✓ リモートセンシングとは
- ✓ 我が国のリモセンにおけるNICTの役割
- ✓ NICTにおける宇宙用センサーに関する取り組み
  1. TRMM、GPM
  2. EarthCARE
  3. JEM/SMILES

---

  4. ドップラーライダー
  5. uvSCOPE
- ✓ データ利活用



# 我が国のリモセンにおけるNICTの役割

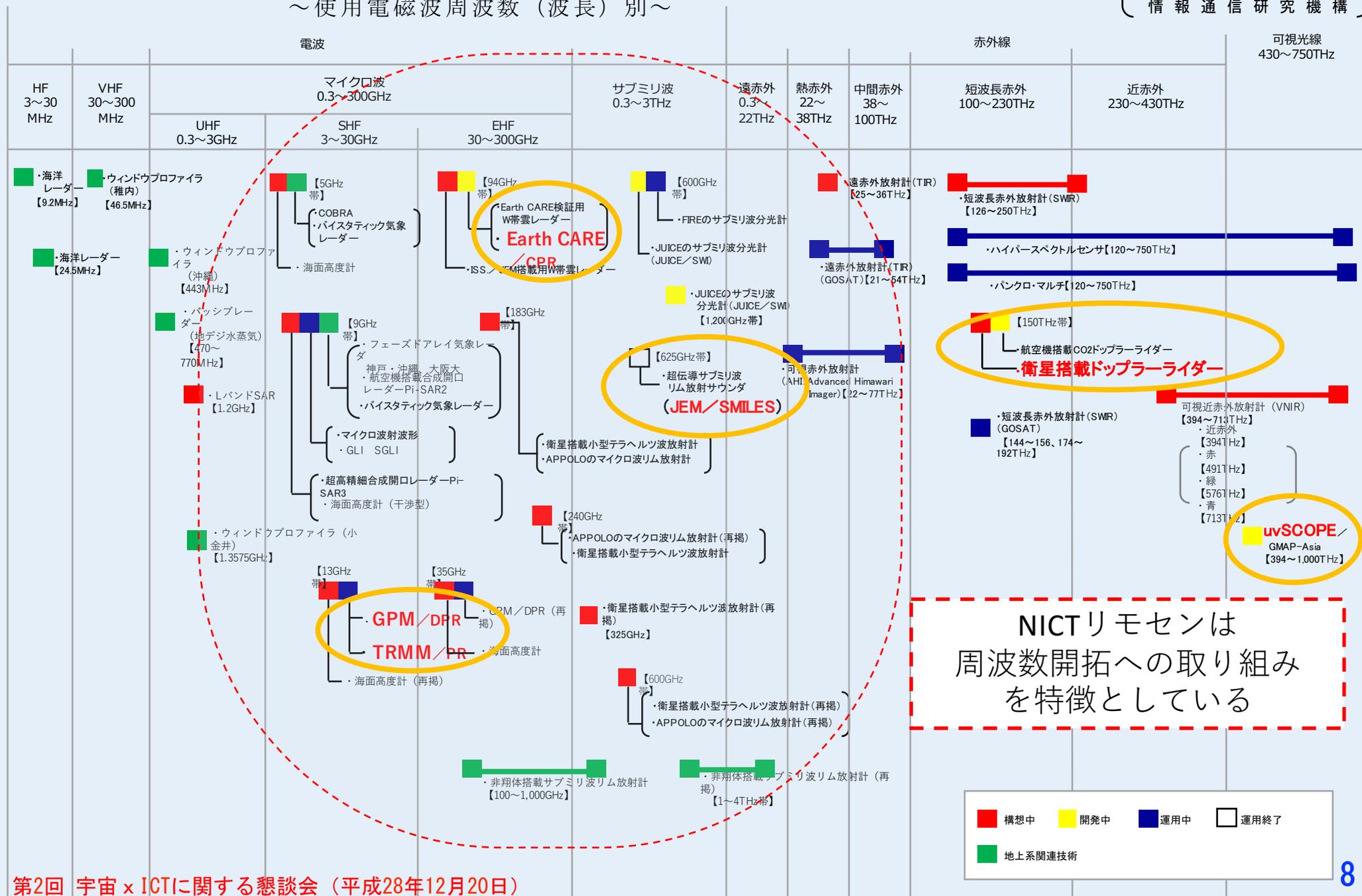
## 衛星リモセン観測とデータ利活用の構造



### NICTの取組

# 我が国において開発・運用等が行われている衛星搭載リモセン等の一覧 ～使用電磁波周波数（波長）別～

平成28年5月現在  
総務省  
情報通信研究機構





# 本日の内容

---

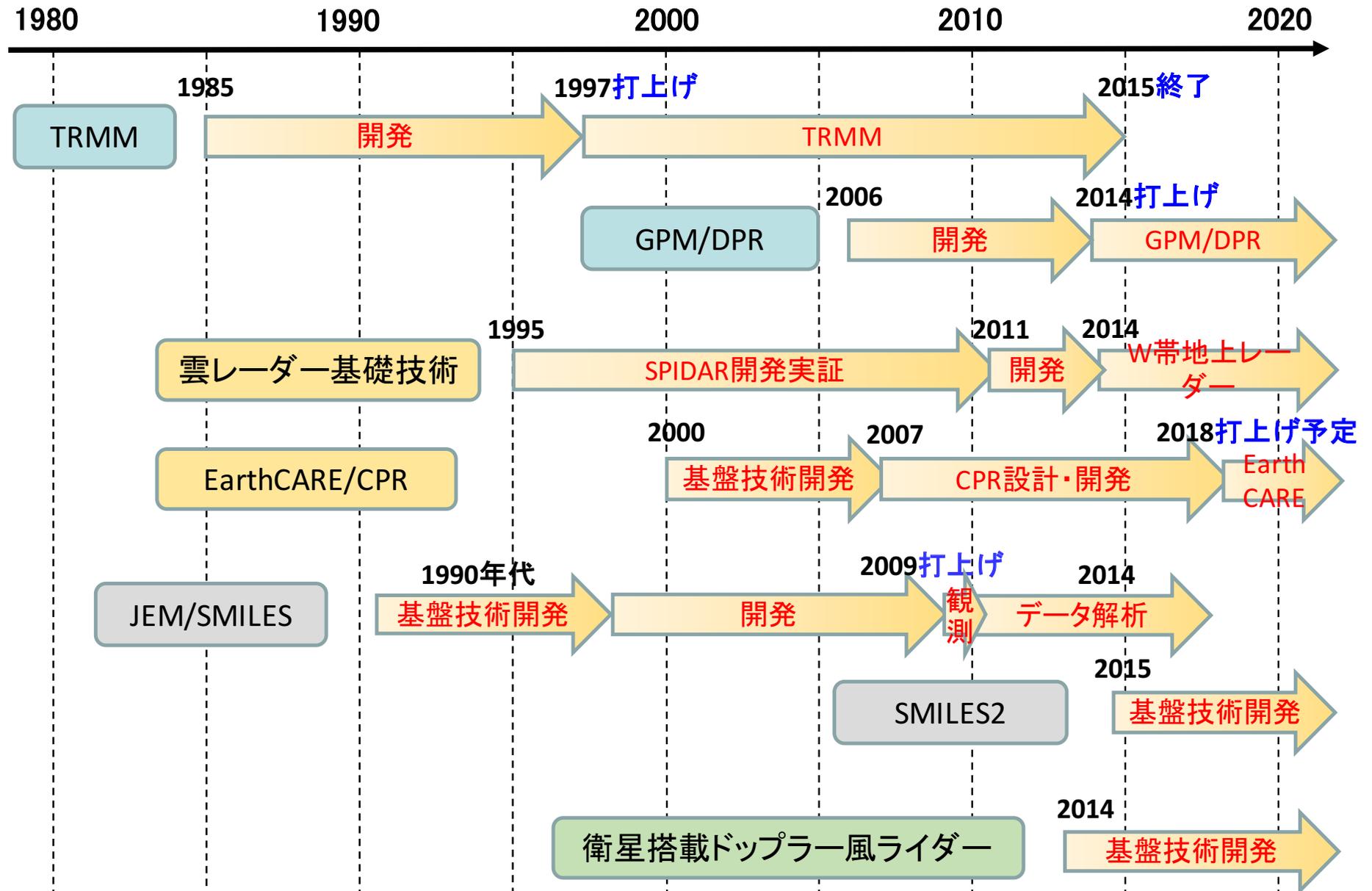
- ✓ リモートセンシングとは
- ✓ 我が国のリモセンにおけるNICTの役割
- ✓ NICTにおける宇宙用センサーに関する取り組み
  1. TRMM、GPM
  2. EarthCARE
  3. JEM/SMILES

---

  4. ドップラーライダー
  5. uvSCOPE
- ✓ データ利活用



# NICTの衛星リモートセンシング開発のこれまでの軌跡





# 本日の内容

---

- ✓ リモートセンシングとは
- ✓ 我が国のリモセンにおけるNICTの役割
- ✓ NICTにおける宇宙用センサーに関する取り組み
  1. TRMM、GPM
  2. EarthCARE
  3. JEM/SMILES

---

  4. ドップラーライダー
  5. uvSCOPE
- ✓ データ利活用



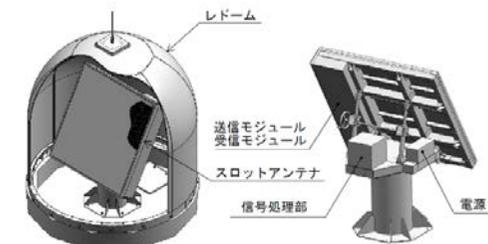
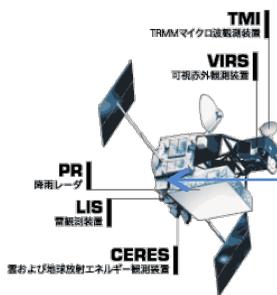
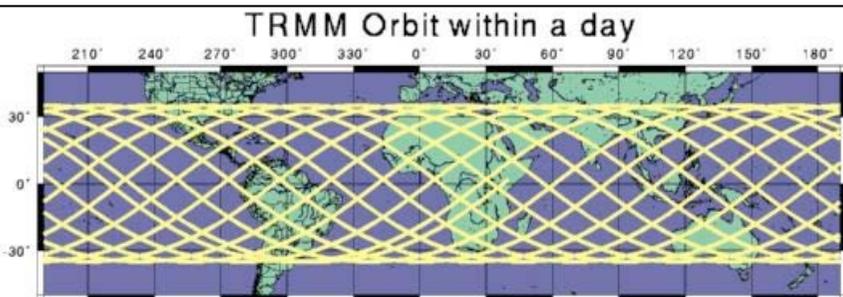
# TRMM衛星

日米の共同プロジェクト  
日本：JAXA・NICT、米国：NASA

(TRMM : Tropical Rainfall Measurement Mission)

- 衛星に世界で初めてアクティブフェーズドアレイアンテナ方式の降雨レーダーを搭載し、1997年11月に打ち上げ。  
↳ フェーズドアレイ気象レーダ（地上設置型）へ応用
- 観測領域：北緯35度～南緯35度（熱帯域）
- 設計寿命（3年2ヶ月）を大幅に延長し、17年間運用。2015年に運用終了。 → GPMへ
- 長期観測により新しい降水科学の分野が広がる。

グローバルな降雨の立体観測（降雨特性）、海洋上の降雨分布特性（気候変動）、地域毎の降雨特性など…



降雨レーダ（TRMM/PR）

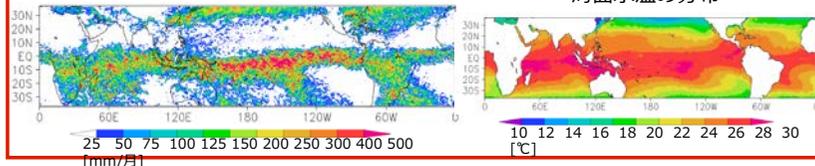
フェーズドアレイ気象レーダ



エルニーニョの例：1998年1-3月

降雨レーダによる雨の分布

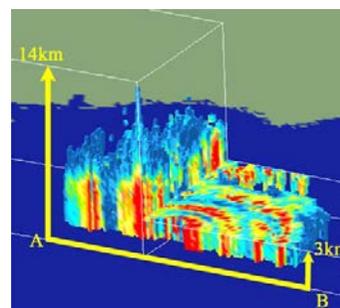
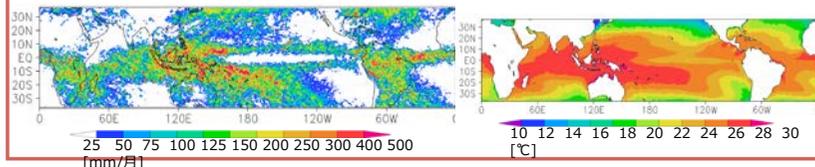
海面水温の分布



ラニーニャの例：1999年1-3月

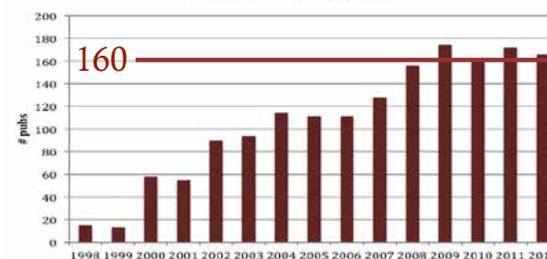
降雨レーダによる雨の分布

海面水温の分布



TRMM/PRで観測された台風の立体構造

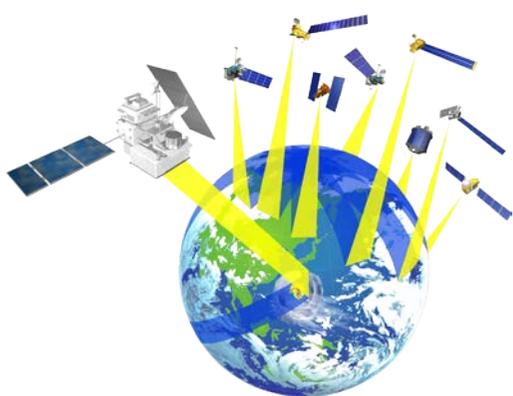
TRMM Publications



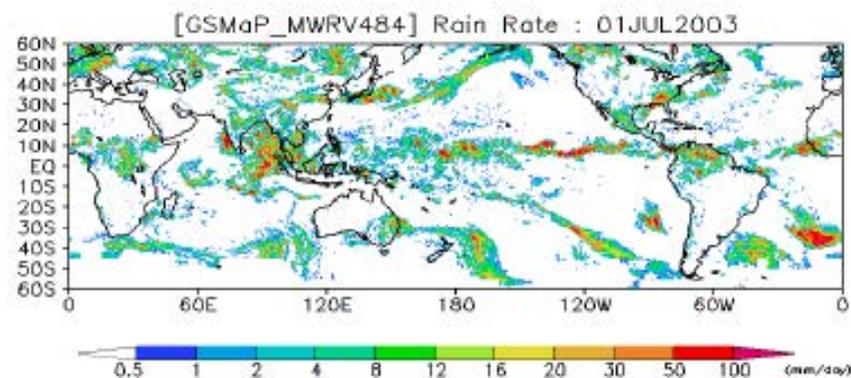
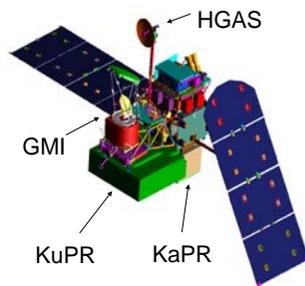
論文数の推移（1998年～2012年）

※論文引用数は、年間4000以上に

- GPM計画は、二周波降水レーダ（DPR）とマイクロ波放射計（GMI）を搭載した1機の主衛星と、マイクロ波放射計を搭載した複数機の副衛星群によって、全球降水の高精度・高頻度観測を行なう国際協力ミッション。
- 観測範囲：北緯65度～南緯65度の領域、観測対象：降水（雨、雪、霰など）
- 主衛星と副衛星から3時間毎の全球降水マップ作成し、全世界に配信。  
→ 現在は、分解能約10km、更新頻度1時間の全球降水マップ（GSMaP）
- 2014年（平成24年）2月28日に種子島から打ち上げ
- 気候変動のモニタリング、洪水予報システムの構築、水資源管理など



GPM主衛星/副衛星群



マイクロ波放射計降水量マップの例

# 途上国の洪水予測に貢献する、宇宙からの降水観測

- ❑ 途上国（例えば東南アジア各国）は日本のサプライチェーンに組み込まれており、例えば2011年のタイの大洪水では、日系企業に大きな被害（保険金支払額も多額）。
- ❑ 宇宙からの降水観測は、海外のサプライチェーンのリスク管理のために必要な、精度の良い降水マップデータや洪水予測を提供できる。
- ❑ 地球温暖化により高頻度化が危惧されているスーパー台風の強度や進路予測の高精度化にも貢献。

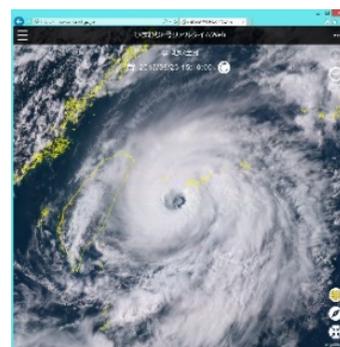
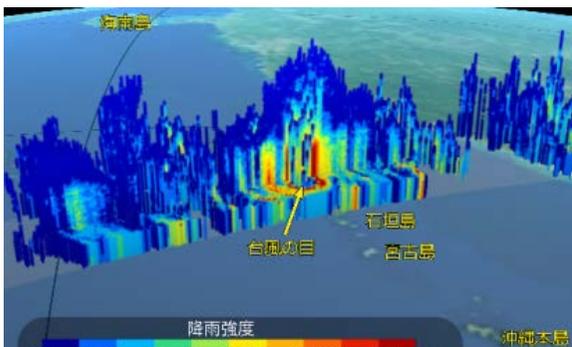


各国の洪水予警報システムへ活用

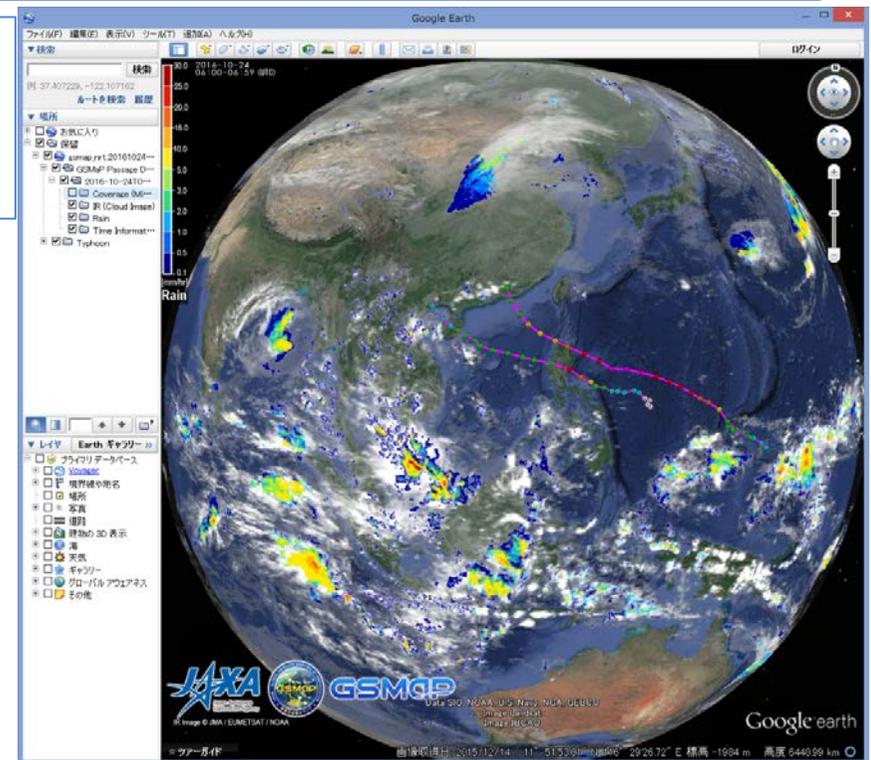
タイ大洪水で被害を受けた日系企業の工場

複数の衛星データを用いて1時間ごとに提供される世界の雨分布速報 (GSMaP)

GSMaP のデータを活用したサービスの創出に関する試みが関連する幾つかの業種の中で始まりつつある。



2015年に石垣島に上陸した大型台風（左：GPMで観測した降雨分布）





# 本日の内容

---

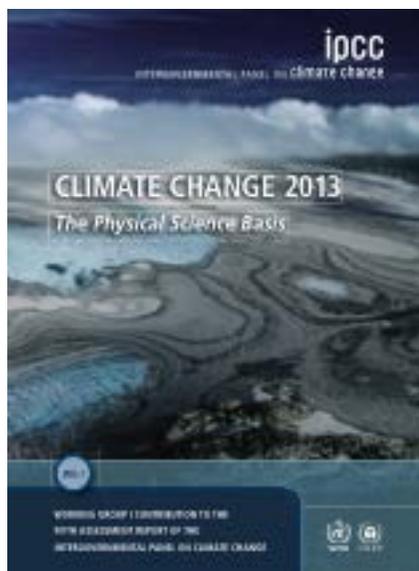
- ✓ リモートセンシングとは
- ✓ 我が国のリモセンにおけるNICTの役割
- ✓ NICTにおける宇宙用センサーに関する取り組み
  1. TRMM、GPM
  2. EarthCARE
  3. JEM/SMILES

---

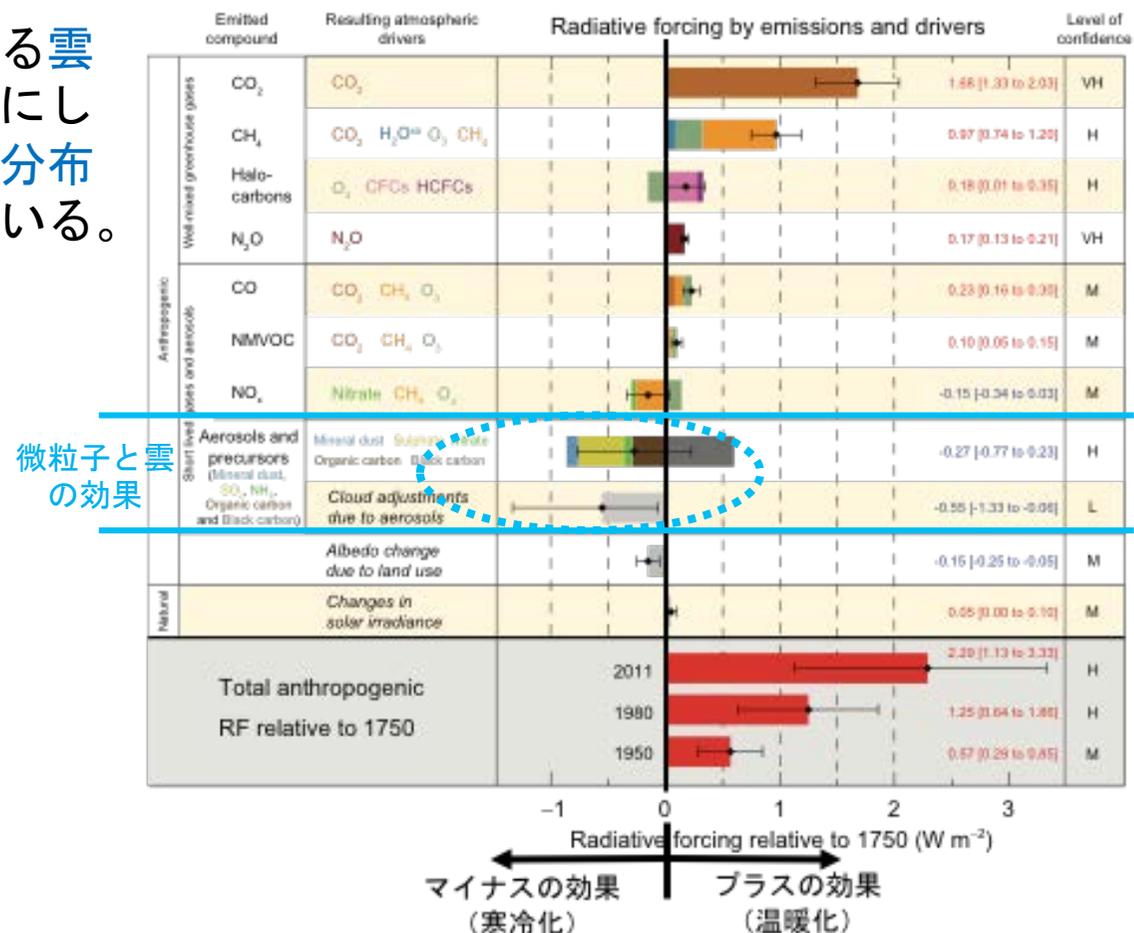
  4. ドップラーライダー
  5. uvSCOPE
- ✓ データ利活用

# EarthCARE衛星の目的の背景

地球温暖化の定量的診断を難しくしている雲や微粒子の効果の把握をより正確なものにしていくため、グローバルな雲や微粒子の分布と地域性に関するデータが必要となっている。



IPCC の 5 次報告書

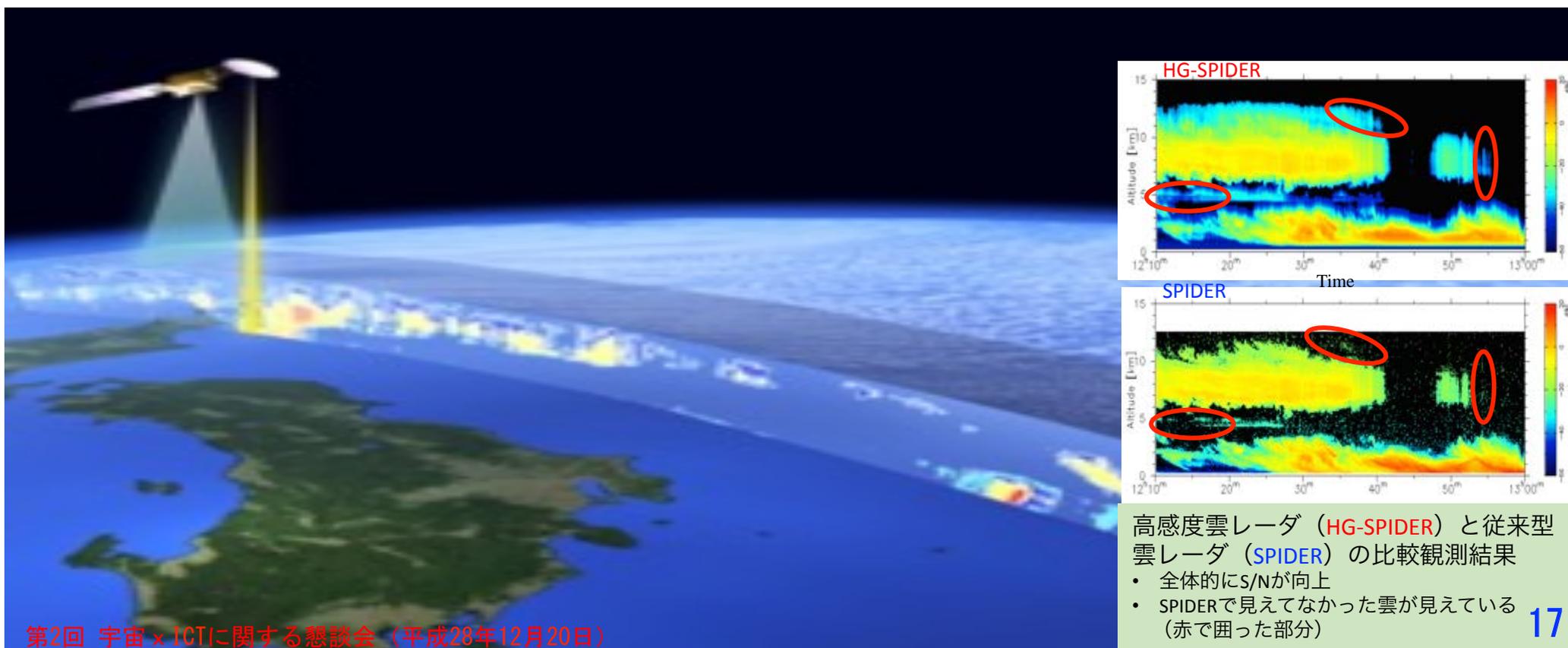


- 地球温暖化の主要因としてCO<sub>2</sub>の効果はよく知られているが、大気中のエアロゾル（微粒子：黄砂やPM2.5など）や雲による効果が非常に複雑であるため、トータルの効果を把握することが難しい状況である。
- エアロゾルの効果はプラスにもマイナスにも効き、雲の効果はマイナスであるが見積もり誤差が非常に大きい。
- 雲の形成にはエアロゾルが重要な役割を果たしていることから、これら、エアロゾル、雲の様子をトータルに把握することが重要となっている。

# EarthCARE (雲エアロゾル放射ミッション)

EarthCARE : Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer)

- 雲、エアロゾルの効果をより正確に把握するため、日欧が共同で開発を進めているのがEarthCARE衛星。
- EarthCARE衛星は、ミリ波 (95GHz) を使って雲粒を観測 (雲レーダー)すると同時に、光 (UV) を使ってエアロゾルを観測 (ライダー)。
- 日本が雲レーダーを担当し、欧州がライダーを担当。



高感度雲レーダ (HG-SPIDER) と従来型雲レーダ (SPIDER) の比較観測結果

- 全体的にS/Nが向上
- SPIDERで見てなかった雲が見えている (赤で囲った部分)



# 本日の内容

---

- ✓ リモートセンシングとは
- ✓ 我が国のリモセンにおけるNICTの役割
- ✓ NICTにおける宇宙用センサーに関する取り組み
  1. TRMM、GPM
  2. EarthCARE
  3. JEM/SMILES

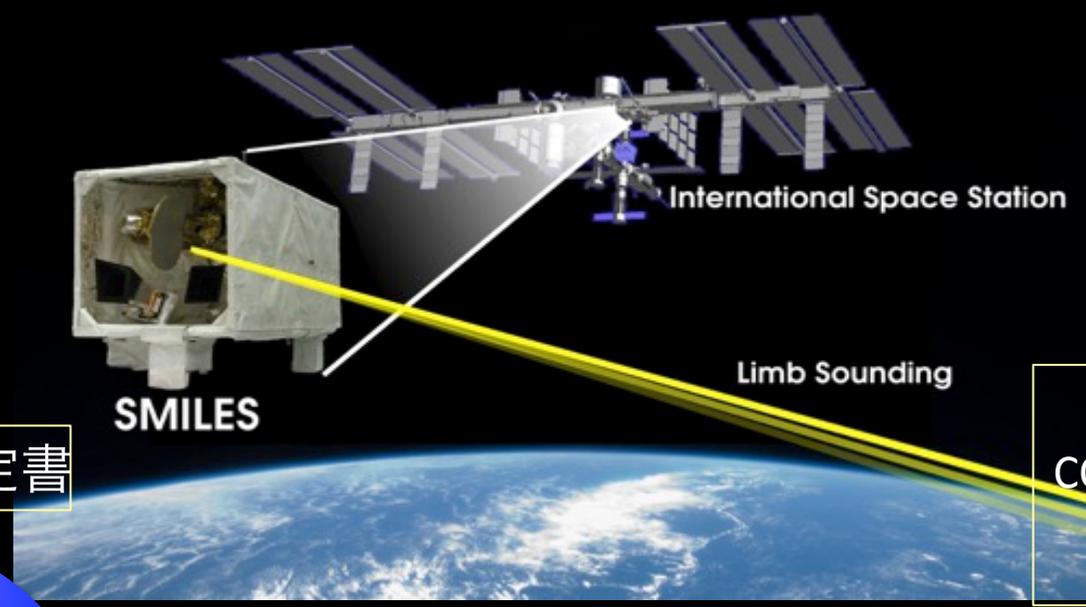
---

  4. ドップラーライダー
  5. uvSCOPE
- ✓ データ利活用

# 大気中<微量物質>の 超高感度・高精度センシング

## 衛星観測の役割

- 1) 実態の把握
- 2) 政策遵守の監視



政策  
と  
<微量物質>

モントリオール議定書

策定に向けて  
CCAC (The Climate and Clean Air  
Coalition)  
/UNEP(国連環境計画)

**オゾン層破壊**

オゾン $O_3$ , フロン  
 $CFCl_3$ 、オゾン破壊ハ  
ロゲン物質 $ClO$ ,  
 $HCl$ ,  $BrO$ 等

気候変動枠組条約

**地球温暖化**

二酸化炭素  $CO_2$

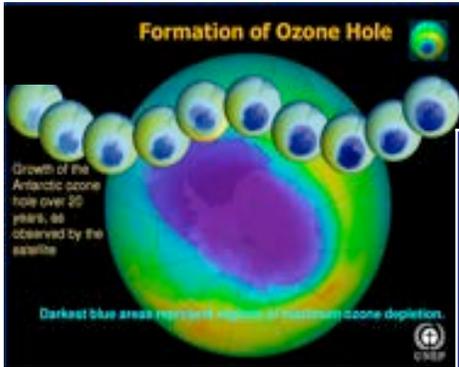
**大気汚染**

短寿命気候汚染  
物質 SLCPs  
 $NO_2$ ,  $PM_{2.5}$ , etc

# 超高感度SMILESセンサによる超微量物質の実態把握

衛星による実態把握  
オゾンホール

上層大気のおゾン減少： 皮膚ガン、白内障、免疫低下によるウィルス性の病気（エイズなど）に影響



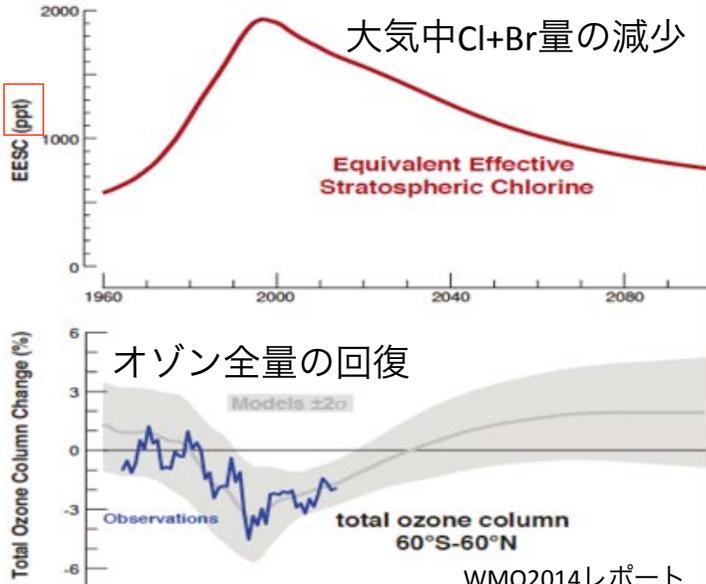
オゾン減少原因： 人為起源の微量ハロゲン物質(ClO, BrO等)。特にBrOは大気中<1兆分の1程度>と超微量であり検出が非常に困難

NICTはBrO日変動把握に成功  
(世界初)

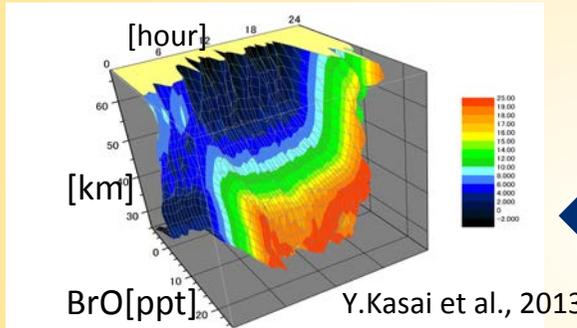
オゾン破壊メカニズムの理解・回復予測に貢献

NICTは測器開発・データ処理を一貫して実施

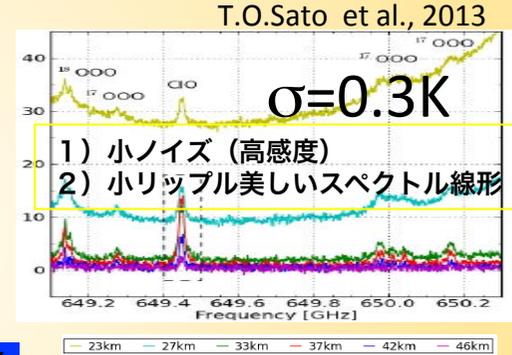
モントリオール議定書による規制により成層圏オゾンは回復中



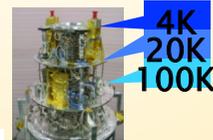
第2回 宇宙 x ICTに関する懇談会 (平成28年12月20日)



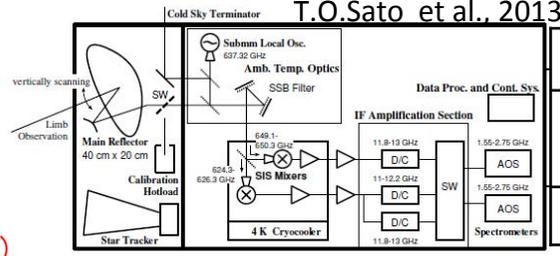
L2,L3  
処理



- 1) 小ノイズ (高感度)
- 2) 小リップル美しいスペクトル線形



L1処理



観測周波数帯	625, 650GHz帯
受信機システム <Tsys>	超伝導4K受信機 <300-360K>
観測期間	2009/10/12-2010/4/21



# 本日の内容

---

- ✓ リモートセンシングとは
- ✓ 我が国のリモセンにおけるNICTの役割
- ✓ NICTにおける宇宙用センサーに関する取り組み
  1. TRMM、GPM
  2. EarthCARE
  3. JEM/SMILES

---

  4. ドップラーライダー
  5. uvSCOPE
- ✓ データ利活用

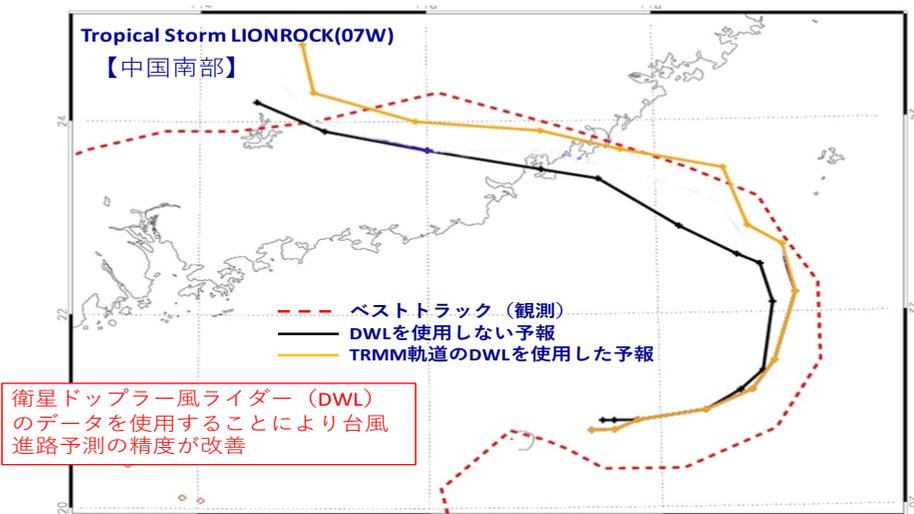
# 宇宙からの風の観測の重要性

- 近年増加が懸念される極端気象現象（スーパーハリケーン、ゲリラ豪雨、洪水、竜巻など）の予測精度向上に必要な要素が風に関するデータである。【気象】
- 地球上を長距離輸送される黄砂や汚染物質が健康被害をもたらしていることから、環境保全の観点から、それらの輸送を正確に把握するための風のデータが必要。【環境】

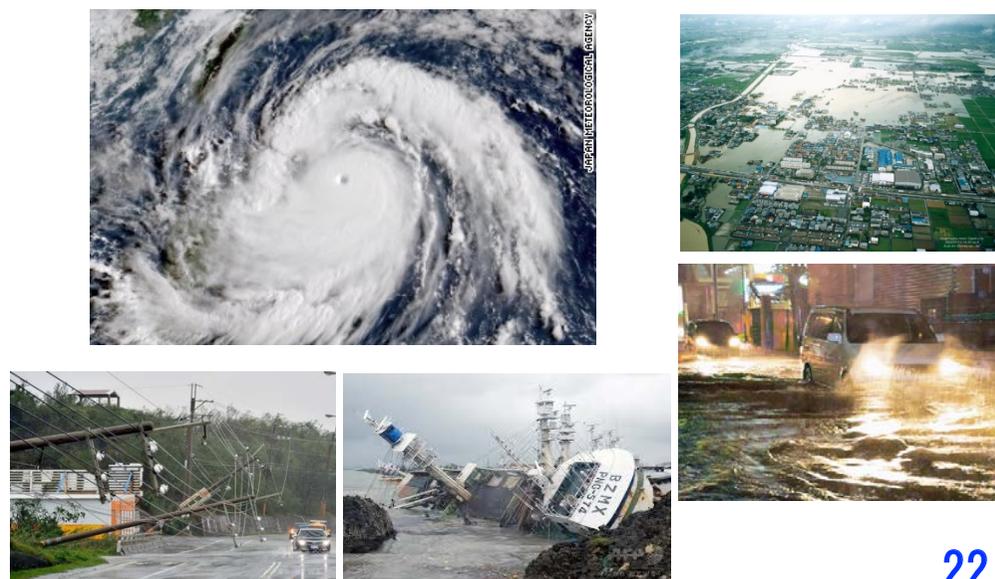


地球表面の7割を占める海上の観測拠点確保が難しいことや、陸上においても砂漠などの観測困難地域が多いことから、軌道上（宇宙）から地球全体を同じクオリティで観測する衛星搭載ドップラーライダーの実現が望まれている。

台風進路予報における  
衛星搭載ドップラーライダーデータ利用効果  
(シミュレーションによる評価(見積り)例)



スーパー台風による甚大な被害

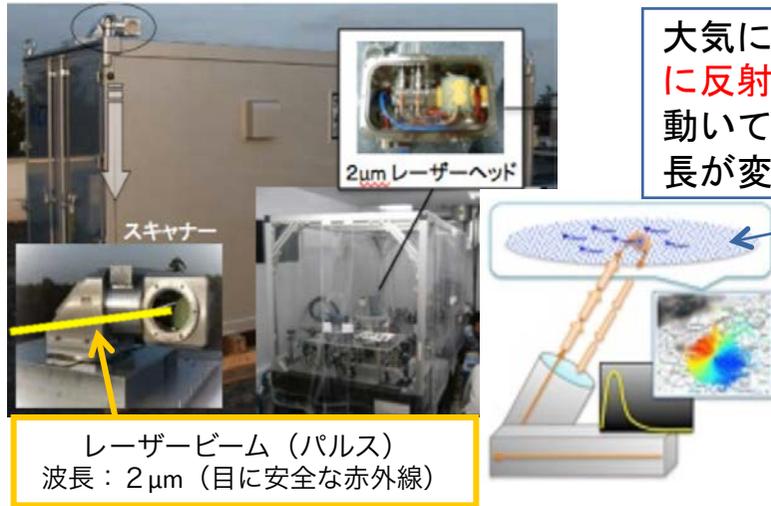


# NICT 衛星搭載ドップラーライダー開発に向けて

□実現のためには、軌道上で安定な性能を出すレーザー技術を人間の目に安全な波長の光で実現すること。

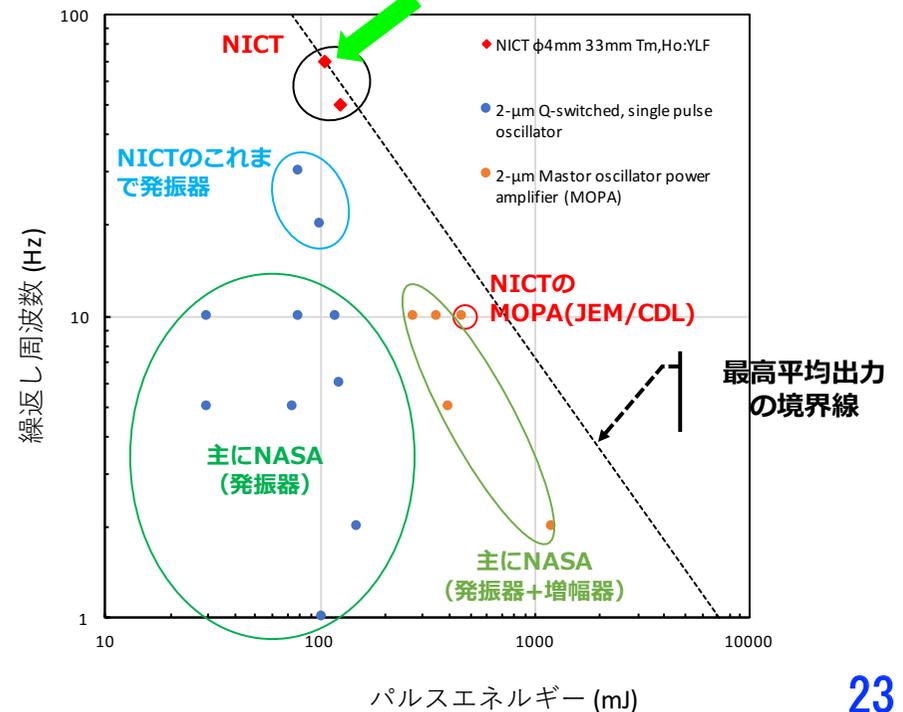
## NICTが開発しているドップラーライダー

大気に向けてレーザー光を発射し、大気中の微粒子（エアロゾル）に反射して帰ってくる光を受信して解析する。微粒子は風に乗って動いているので、反射するときにドップラー効果が発生して光の波長が変化することを利用して風を解析する。



## 衛星搭載用高出力パルスレーザーの開発競争の状況 7.28 W (=104 mJ, 70 Hz)

2μm帯の伝導冷却固体レーザー発振器として  
世界最高の平均出力7.28 Wを達成



### 衛星搭載ライダーの性能を決める重要要素

- レーザ出力と目の安全性を両立
- 繰り返し周波数(1秒間にいくつのパルスを出せるか)
- 空間分解能
- 受光望遠鏡の口径のトレードオフ

- NICTの強みは、レーザーを独自開発する技術の蓄積と設備があること。
- センサー開発研究と基礎研究が連携してトライアンドエラーを繰り返しながら高度な技術の確立を目指していくことができ、国際競争等の基礎体力となっている。



# 本日の内容

---

- ✓ リモートセンシングとは
- ✓ 我が国のリモセンにおけるNICTの役割
- ✓ NICTにおける宇宙用センサーに関する取り組み
  1. TRMM、GPM
  2. EarthCARE
  3. JEM/SMILES

---

  4. ドップラーライダー
  5. uvSCOPE
- ✓ データ利活用

# 大気汚染高分解能観測のための小型衛星センサの開発

大気汚染物質を1km級の水平分解能で観測

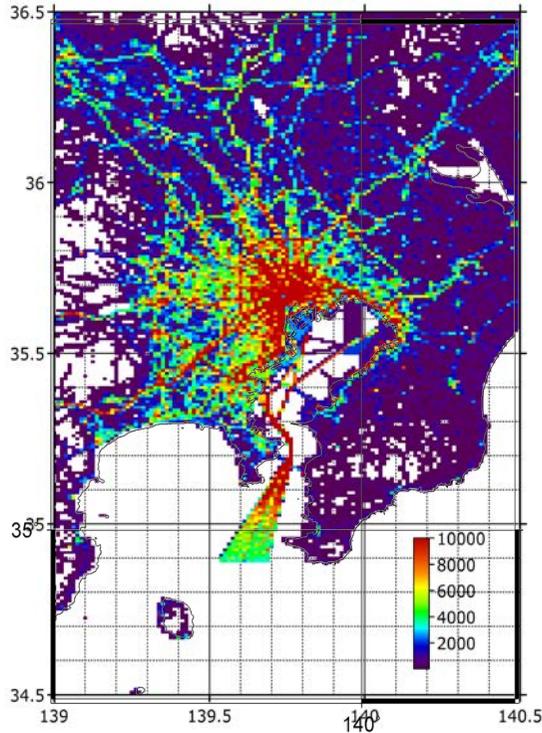
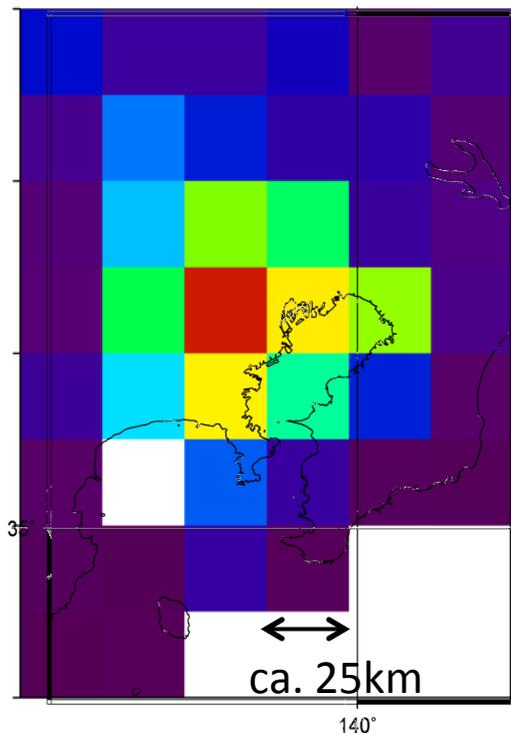


大気汚染やエネルギーに関するマネージメント情報の提供に資する

現在の衛星 (7km)

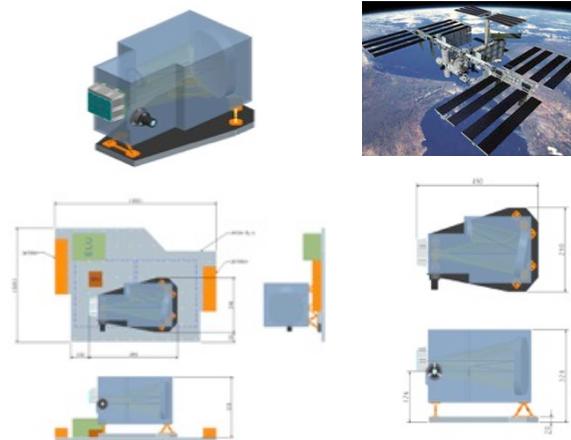


uvSCOPE (1km)

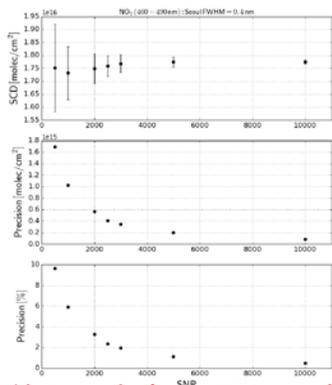


uvSCOPE

2014 JAXA地球圏総合診断委員会 国際宇宙ステーション中型ミッション第一位推薦。研究開発中



観測対象	NO <sub>2</sub> , O <sub>4</sub>
IFOV[km]	1 x 1,
Swath width[km]	~200
NO <sub>2</sub> 検出限界[molec/cm <sup>2</sup> ] *対流圏カラム	3.0 x 10 <sup>15</sup> (5%)
波長範囲[THz]	657.2-611.8
寸法[mm]	560x350x350
質量[kg]	10以下
データレート[bps]	3M



感度解析により、既存の日本技術では精度5%要求のところ、8%程度で観測が可能。今後の措置として 1) 周波数分解能を落とし検出器メーカーに最適化相談を行う、2) より低軌道を狙う、などを検討中。



# 本日の内容

---

- ✓ リモートセンシングとは
- ✓ 我が国のリモセンにおけるNICTの役割
- ✓ NICTにおける宇宙用センサーに関する取り組み
  1. TRMM、GPM
  2. EarthCARE
  3. JEM/SMILES

---

  4. ドップラーライダー
  5. uvSCOPE
- ✓ データ利活用

# 衛星データ利活用の可能性

- 衛星データに代表されるような究極の科学データから社会の様々なモノ・コトに関するデータを有効に関連させて活用していく技術が必要である。
- そのための1つのアプローチとして、環境データや気象データと社会活動との関連をデータという観点で描写していくための研究開発を行っている。
- 大気汚染をテーマとしたデータ利活用研究、ゲリラ豪雨をテーマとしたデータ利活用研究を進めている。
- 現在の段階では、サイエンティフィックなセンシングデータと人間活動、社会活動との統合解析の方法論の研究と、それによる新たな価値創造の可能性追求の研究の段階。
- 近未来に宇宙（軌道上）からの地球観測データを活用する自由度とそのバリエーションが広がることで、未来予測の時空間スケールが広がっていく。

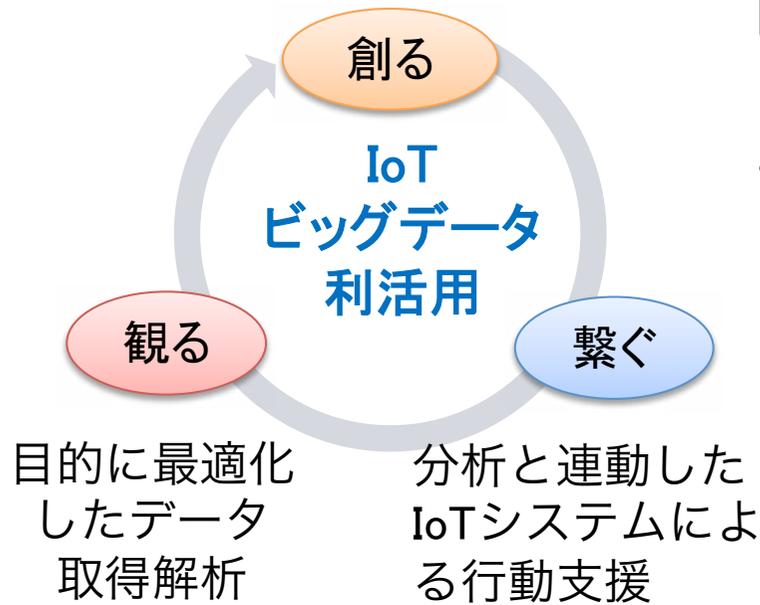
これらは、最先端 ICT自身とそれを利用した価値創造における新たなチャレンジとして、期待される。

また、この技術の実現により、新たなプレイヤーたちが参入しやすいデータ利活用基盤の実現（現状ではまだ難解な科学データを誰もが使いこなせるようにするデータ利活用基盤の実現）につながっていく期待がある。

# IoTビッグデータ利活用による社会システムの スパイラル的な最適化・効率化

## 実空間情報分析

### 異分野IoTデータの横断的分析



## IoTビッグデータを利活用した交通・物流等社 会システムの最適制御



総務省情報通信審議会 諮問第22号「新たな情報通信技術戦略の在り方」 中間答申より  
抜粋（H27年7月）

- ・ センサーデータ取得解析技術  
（電磁波研究所、テラヘルツ研究センター）
- ・ 情報利活用基盤技術  
（ユニバーサルコミュニケーション研究所）

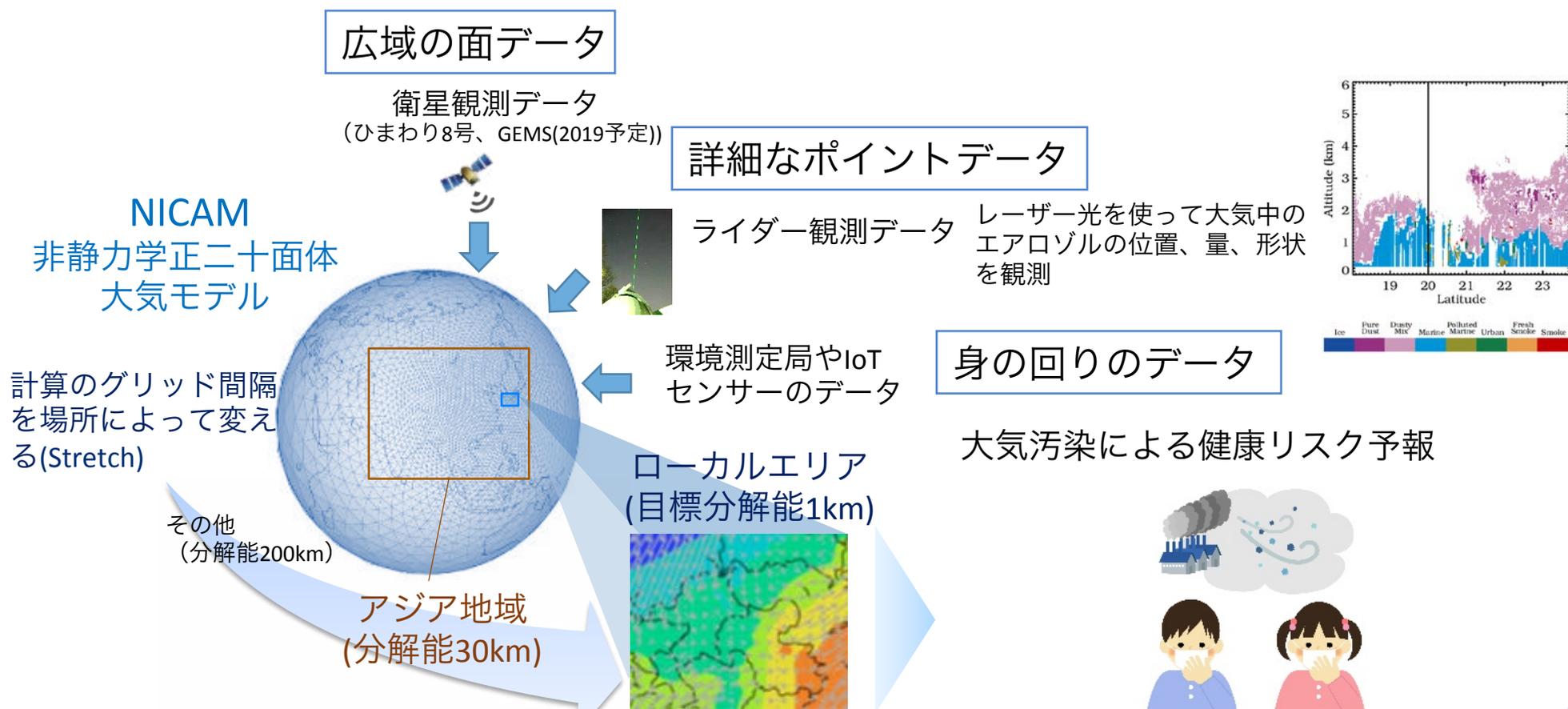
## ビッグデータ利活用研究室

（統合ビッグデータ研究センター（一部、ユニバーサル  
コミュニケーション研究所情報利活用基盤総合研究室））

第4期中長期計画か  
ら新たにスタート

# 大気汚染対策支援に向けた取り組み

- アジア地域～生活空間のスケラブルかつシームレスな大気汚染予測手法を開発し、越境汚染を加味した早期かつ高精度な局所大気汚染の予測を実現
  - ・ このレベルでのマルチスケール・マルチモーダルな大気汚染予測は前例がない
- 健康リスク予測による大気汚染対策支援の応用実証
  - ・ 様々な大気汚染物質の複合的な分布を抽出し、より詳細化した健康リスクの推定を可能に

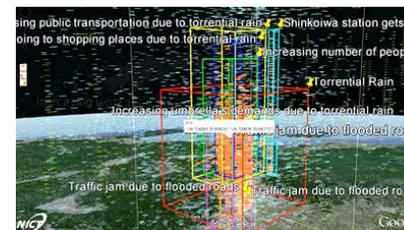


- 様々なセンシングデータの空間的・時間的・意味的な複合相関パターンを発見・予測するデータウェアハウスシステムの開発

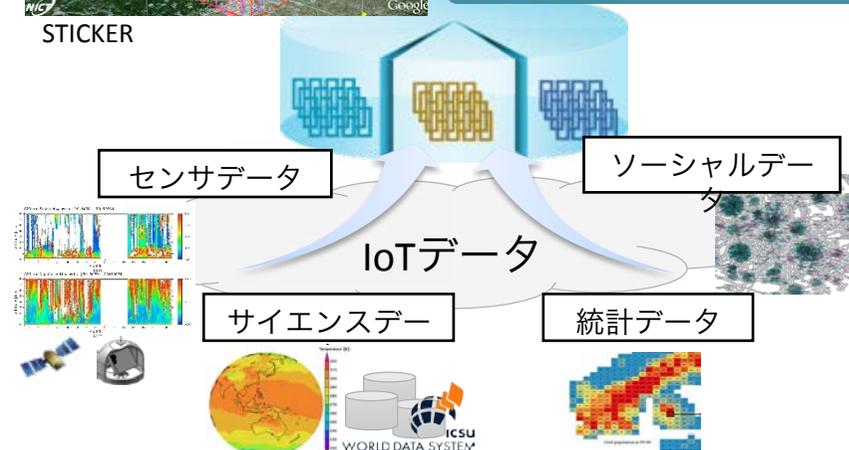
## ■ 現在の実施状況

- 時空間クラスタリングと相関ルール抽出の相互最適化による局所的相関パターン発見方式を開発
  - 降雨データと渋滞データの相関分析など、時空間的な偏りが強いデータの相関パターンを発見
- In-Database処理による高速化
- ゲリラ豪雨早期探知と連動した交通リスク予測と運転者支援への応用
  - 過去の豪雨被害事例に関する降雨及び交通データの整備、相関パターン発見の性能評価とチューニング

### ゲリラ豪雨対策支援



- 時空間クラスタリング
- 相関ルール抽出
- 相関データ予測



# 衛星データ利活用（健康被害をテーマとしたイメージ）

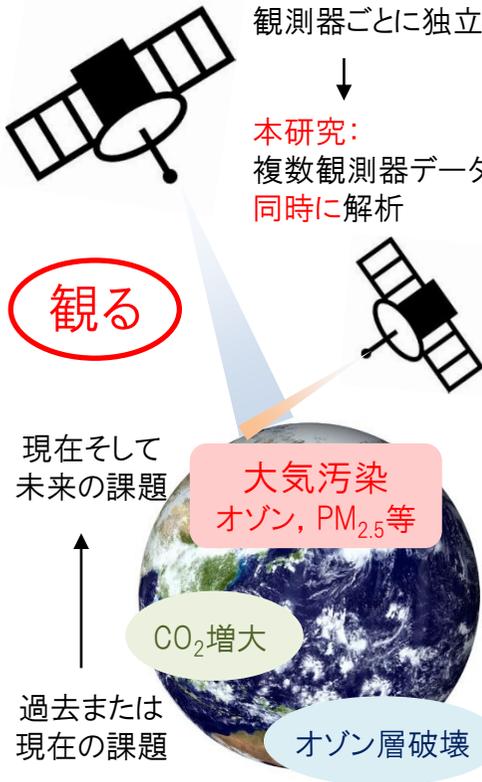
## 衛星リモートセンシング



## 健康被害

従来研究：  
観測器ごとに独立解析

本研究：  
複数観測器データを  
同時に解析



複数観測器データ同時解析による大気汚染物質地表面存在量グローバル分布導出

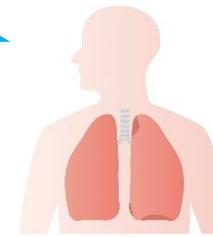
$$X_{new}^2 = \sum_{i=1}^N [(y_i - F(M(x), b))^T S_{y_i}^{-1} (y_i - F(M(x), b))] + (x - x_a)^T S_a^{-1} (x - x_a)$$

複数観測器データの横断的解析手法の開発  
従来は困難とされていた衛星リモセンによる  
地表面データの取得



大気質健康指数による健康被害「見える化」  
大気汚染物質存在量情報を大気質健康指数 (AQHI) に代入  
大気汚染による健康被害を定量化

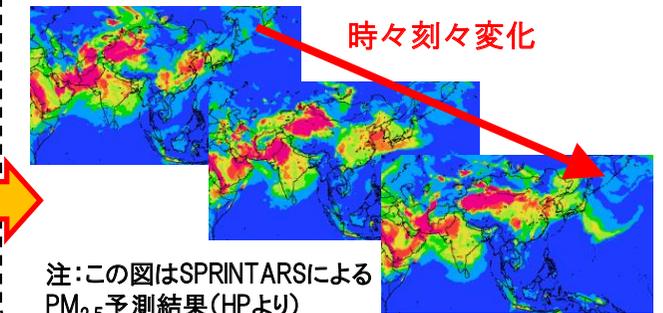
$$AQHI = \left(\frac{1000}{10.4}\right) \times [(e^{0.000537 \times O_3} - 1) + (e^{0.000487 \times PM_{2.5}} - 1) + (e^{0.000871 \times NO_2} - 1)]$$



大気汚染物質による疾患  
・肺がん  
・気管支ぜんそく  
・慢性気管支炎  
・花粉症 etc...

### 「大気汚染による健康被害情報の提供」

大気シミュレーションモデルに大気汚染物質をリアルタイムにセンシングしたデータを組み込み、AI技術も活用したビッグデータ同化解析により大気汚染物質分布の動向と、それに伴う健康被害データを定量的に提供



注：この図はSPRINTARSIによるPM<sub>2.5</sub>予測結果(HPより)

# 分散した複数衛星リモセンデータの同時解析処理システム

## 世界データに随時アクセス

NASA, NOAA  
周回軌道衛星データ

Aura/OMI  
Aura/TES  
Aura/MLS

随時アクセス

L1 スペクトル 装置関数

日本上空  
静止衛星データ

ひまわり8  
GEMS

L1 スペクトル 装置関数

ESA, Copernicus  
周回軌道衛星データ

MetOp/IASI  
Odin/SMR

L1 スペクトル 装置関数

地上観測データ

ライダー  
そらまめ君  
小型IoTセンサ

L1 スペク 装置関数  
小型センサ

## データ処理管理

複数測器同時リトリバル解析

UV + IR + MW → 複数

[Kasai et al., to be submitted]

単一の解析よりも空間分解能を向上

出力 ↓

L2データ  
存在量・温度等の物理量  
高度分布データ

[Kasai et al., 2013] [Sato et al., 2014]

入力 ↓

モデル同化

L2観測データをインプットすることで、モデル単一では捉えられない突発的な変動も捉える

出力 ↓

L3データ  
物質量の4次元分布、予測値

[SPRINTARS HPより]

アウトプットの時空間分解能は目的に合わせてチューニング可能  
都市内: 1km<sup>2</sup>  
国内: 10km<sup>2</sup> 等

応用例:  
大気汚染による健康リスクの定量化

$$AQHI = \left(\frac{1000}{10.4}\right) \times [(e^{0.000537 \times O_3} - 1) + (e^{0.000487 \times PM_{2.5}} - 1) + (e^{0.000871 \times NO_2} - 1)]$$

1-3: 害なし / 4-6: 屋外活動してよい / 7-10: 屋外活動を減らすよう検討 / 10以上: 屋外活動を減らす

L3データを健康リスク指数AQHIに代入  
健康リスク4次元分布を導出



### 実装例1: 大気汚染予測

越境汚染等で突発的に発生する健康リスクを予測

明日は70%の確率で越境汚染が起こります。外出時はマスクを

### 実装例2: パーソナル大気汚染暴露メーター

スマホGPS機能と大気汚染物質分布データを組み合わせ、日々の汚染暴露量を記録。

今日は暴露が多いです  
外出は極力控えましょう

# NICT おわりに

- ✓ 宇宙技術の開発は、究極の極限環境で動作するシステムを開発するチャレンジでもあり、そのプロセスで獲得される技術は、将来、地上で多くのシーンで使われる技術の基盤にもなっていくものである。宇宙の旗印を掲げて広い裾野の大小の技術を伸ばしていくことで、国の技術の底上げになり、様々な一般的技術の実現を可能にする。

例えば、

- TRMMの経験と実績 → フェーズドアレイ気象レーダの実現。
- 宇宙のチャレンジは「夢」という大きなインパクトのある目標もあるが、難易度の高い究極のチャレンジとして、そのアクティビティが収容する技術の裾も広がる（センサー、通信、制御、人工知能…）

- ✓ データ利用の観点では、宇宙からの観測で得られるグローバルデータと、地上の観測網で得られる地域ごとの詳細データの組み合わせにより、地球全体からローカルまでの環境を時空間的により有効に把握し、データ利用の幅が拡大する。

- より広範囲のアイデアを自由にエンカレッジし、価値創造やビジネス創造に繋いでいくために、世代や階層にとらわれないアイデア創出の仕組みを仕掛けていくことが重要  
→ アイデアソン、ハッカソンなど