

A satellite-style map of Japan, showing the islands in shades of green and brown against a dark blue background of the ocean. The map is positioned on the left side of the slide.

PRPRサーベイシリーズ
リモートセンシング：
画像情報処理から時空間情報処理へ

国立情報学研究所 (NII)

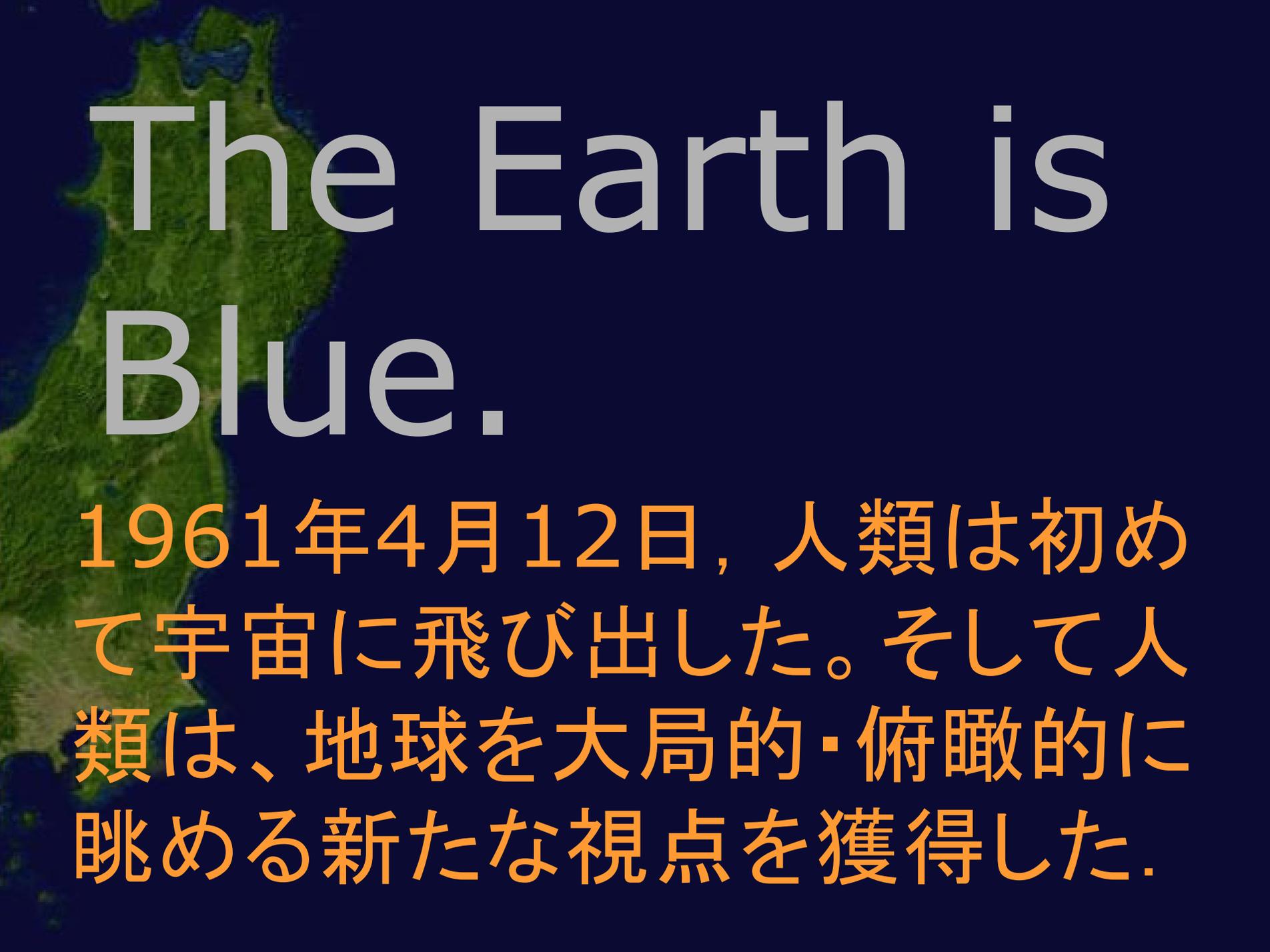
北本 朝展

<http://research.nii.ac.jp/~kitamoto/>

背景画像: Blue Marble: NASA Earth Observatory Team 提供

概要

1. はじめに
2. リモートセンシングの概要
3. リモートセンシング画像情報処理
4. リモートセンシングに特徴的な画像情報処理問題
5. 画像情報処理から時空間情報処理へ
6. おわりに



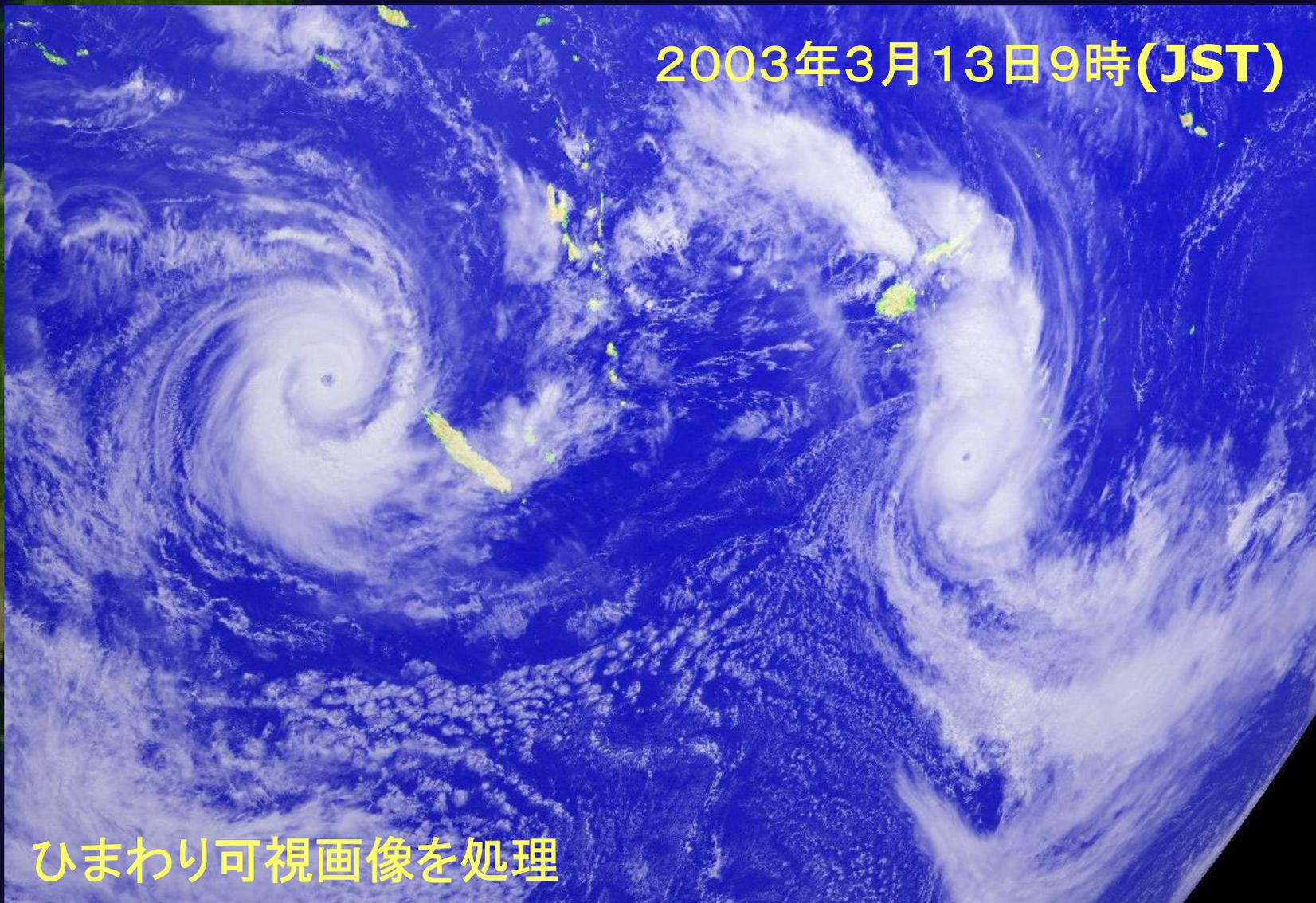
The Earth is Blue.

1961年4月12日，人類は初めて宇宙に飛び出した。そして人類は、地球を大局的・俯瞰的に眺める新たな視点を獲得した。

人類の新たな視点

2003年3月13日9時(JST)

ひまわり可視画像を処理



A satellite-style map of Japan, showing the main islands and surrounding waters. The map is oriented vertically, with the top of the image showing the northern part of the country.

人類
の
新
た
な
視
点

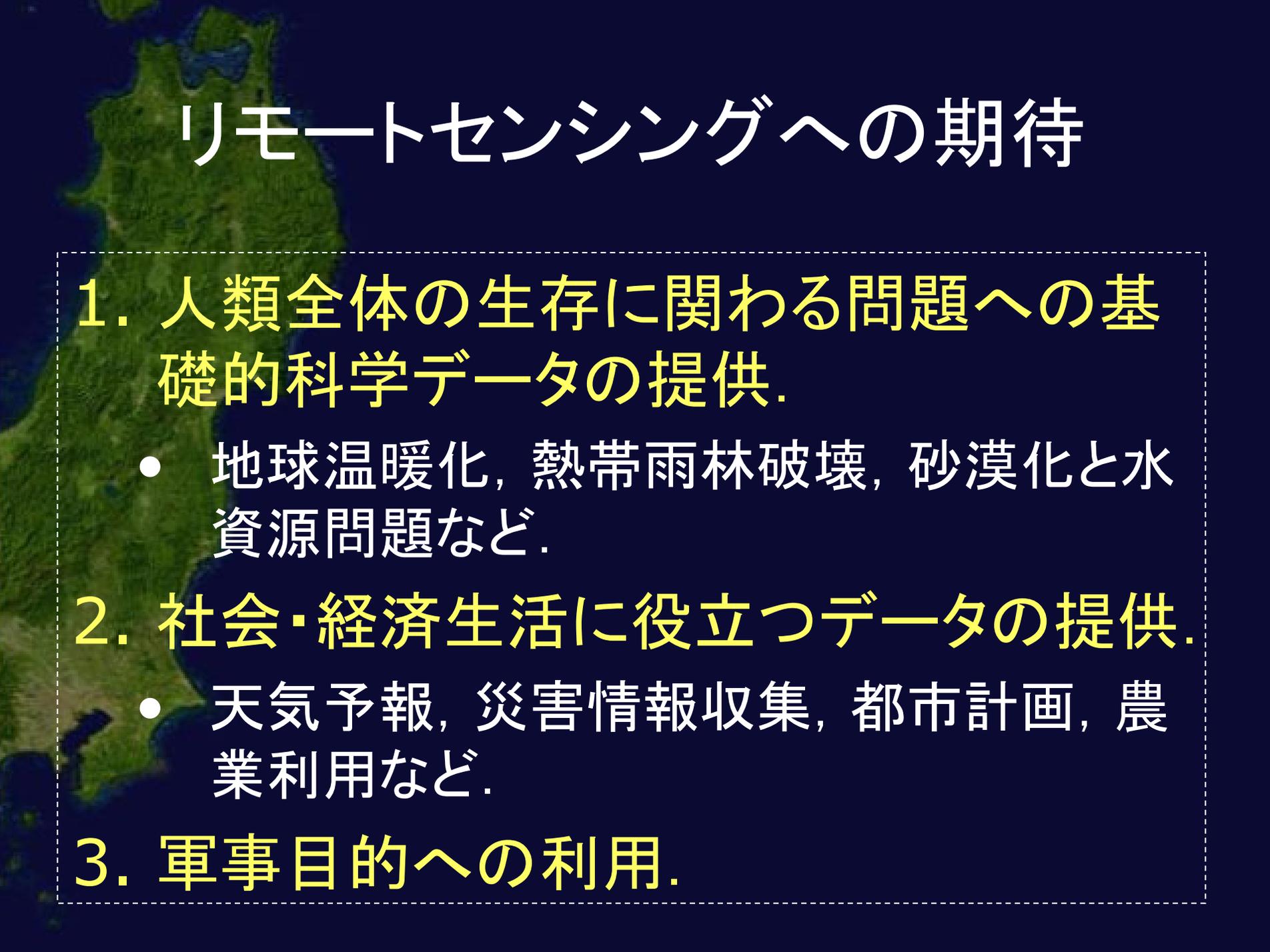
リモートセンシングとは

対象物とセンサとが遠く(キロメートル単位)離れた観測方法を一般に指す.

本発表では

航空機・ヘリコプタあるいは衛星などの飛翔体に搭載したセンサから対象物を遠隔計測する方法に限定する.

さらに地球観測の場合に限定する(宇宙観測などは含まない).

A satellite-style map of Japan is visible in the background, showing the islands in shades of green and brown against a dark blue ocean. The map is partially obscured by the text.

リモートセンシングへの期待

1. 人類全体の生存に関わる問題への基礎的科学データの提供.
 - 地球温暖化, 熱帯雨林破壊, 砂漠化と水資源問題など.
2. 社会・経済生活に役立つデータの提供.
 - 天気予報, 災害情報収集, 都市計画, 農業利用など.
3. 軍事目的への利用.

著名な地球観測衛星

- 気象観測衛星

- ひまわり/GMS-5(日), GOES, NOAA, DMSP(米), METEOSAT(欧)

- 地球環境観測衛星

- LANDSAT(米), SPOT(仏), TERRA(米)

- 超高分解能衛星

- IKONOS, QuickBird(米)

- レーダ衛星

- TRMM(米・日), SIR-C/X-SAR(米)

概要

1. はじめに
2. リモートセンシングの概要
3. リモートセンシング画像情報処理
4. リモートセンシングに特徴的な画像情報処理問題
5. 画像情報処理から時空間情報処理へ
6. おわりに

リモートセンシングの設計

要するに、対象物と電磁波との相互作用、すなわち対象物による電磁波の反射・散乱・放射の強度を観測するための方法。

- **目的志向**の設計

- 何をどのくらい観測したいのか？

- 利用目的の多様性に対応した進化。

- 専門分野への分化は進んでいるが、雑多な個別技術の寄せ集めではない。

A satellite-style map of Taiwan is visible in the top-left corner of the slide, showing the island's green terrain and surrounding blue waters.

設計項目

1. 分光特性

- 波長分解能, 觀測波長, 波長範圍

2. 空間特性

- 空間分解能, 觀測場所, 觀測幅

3. 時間特性

- 時間分解能, 觀測(地方)時

分光特性

1. 電磁波の反射・散乱を利用する場合.

— 受動型センサ

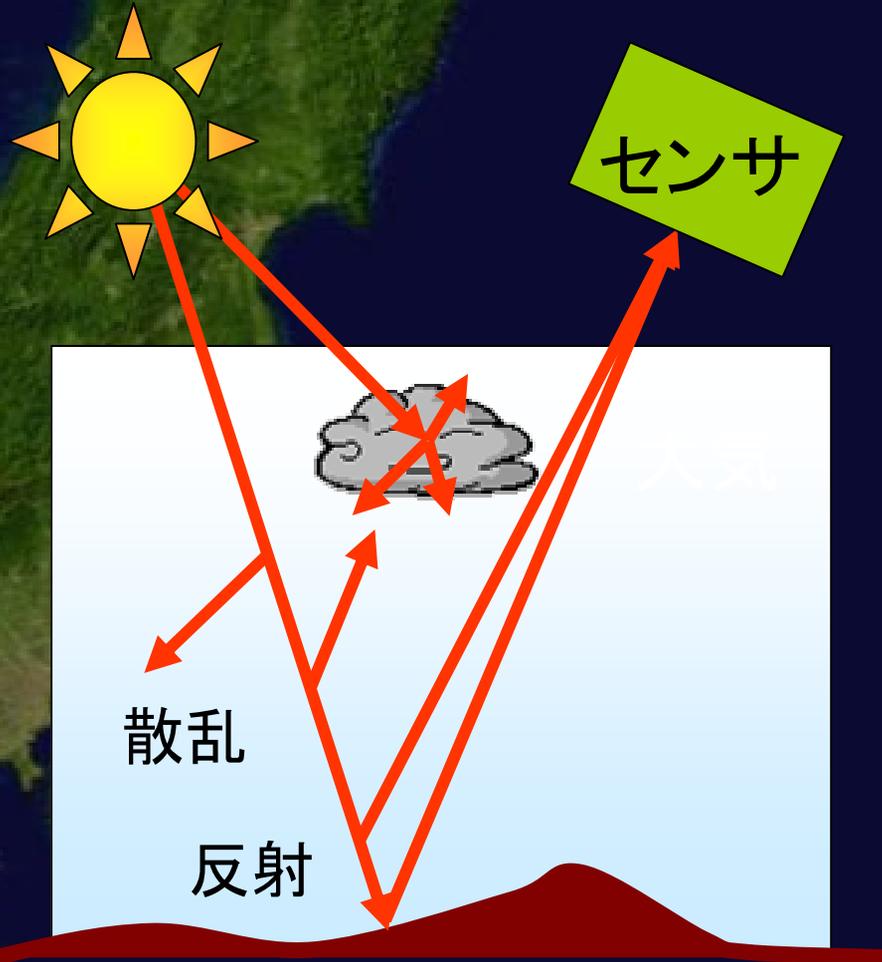
— 能動型センサ

2. 電磁波の放射を利用する場合.

1. 紫外光からマイクロ波におよぶ波長帯.

2. 近年はハイパースペクトル観測に関心.

受動型センサ



- 太陽光源から対象物に達した**電磁波の反射**を観測する.
- 可視域(400nm-700nm)は**太陽放射がピークの波長**.
- 同時に**大気の窓**にもなっている.

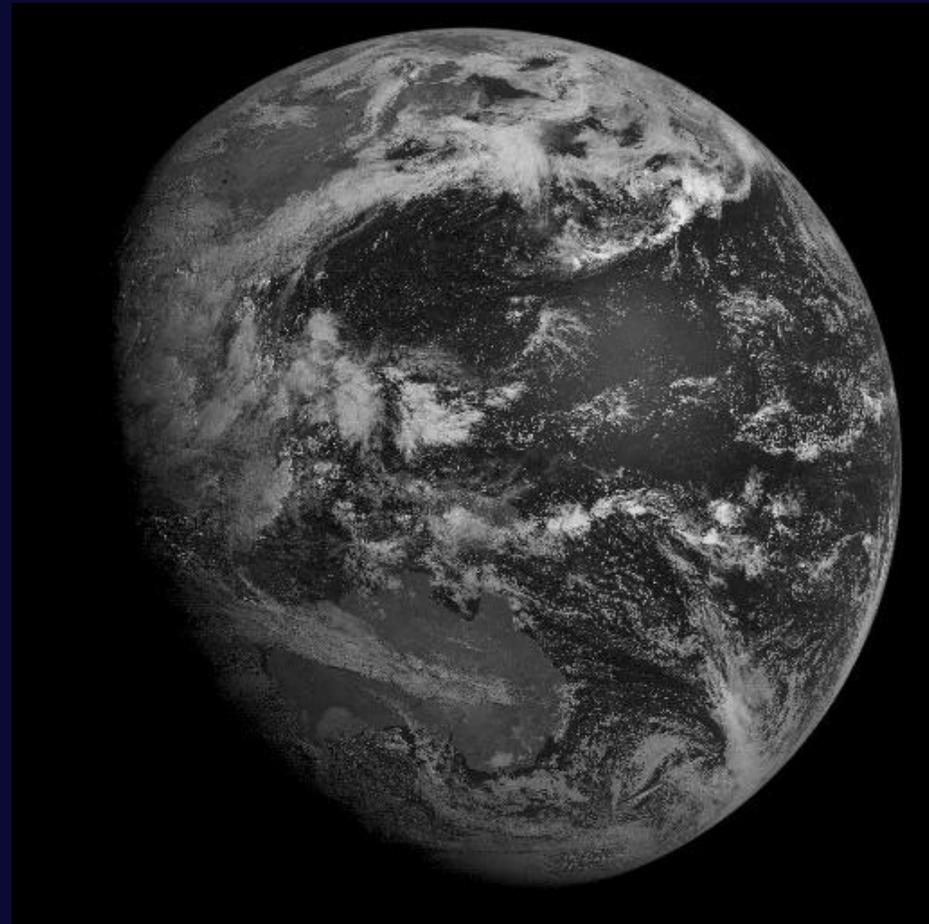
マルチスペクトル観測

1. 可視域全体を観測帯域(バンド)とする
パングロマティック観測.
2. 可視域において光の3原色に対応する
バンドをもつトゥルーカラー観測.
3. 可視域に限定せず多数のバンド(4—
12個)を用いるマルチスペクトル観測.

非常に初期の段階からマルチスペクトル観測

可視光による観測

- 太陽光源からの放射光に対する、大気や陸海面での反射・散乱を観測。
 - 雲粒によるミー散乱
 - 陸面による散乱(ランベルト面)
 - 海面による鏡面反射(sun glint)



超高分解能衛星



IKONOS 衛星画像: 日本スペースイメージング(株)提供

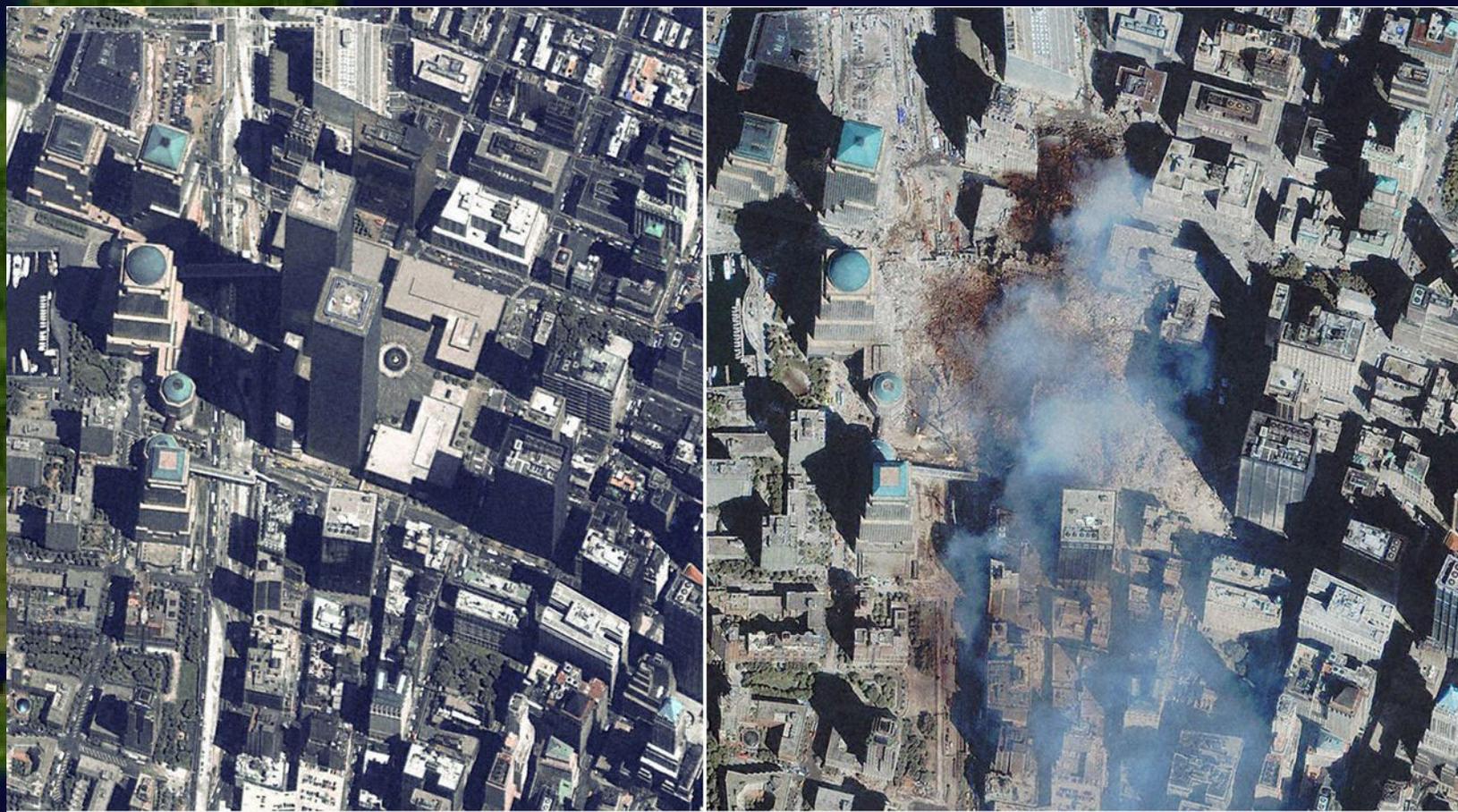
分解能1mの世界とは

- 車の台数にとどまらず車種までもある程度は識別可能.
- 個々の建物の建築状況の監視なども可能.
- 多様な利用が可能である.



IKONOS 衛星画像: 日本スペースイメージング(株)提供

災害モニタリング



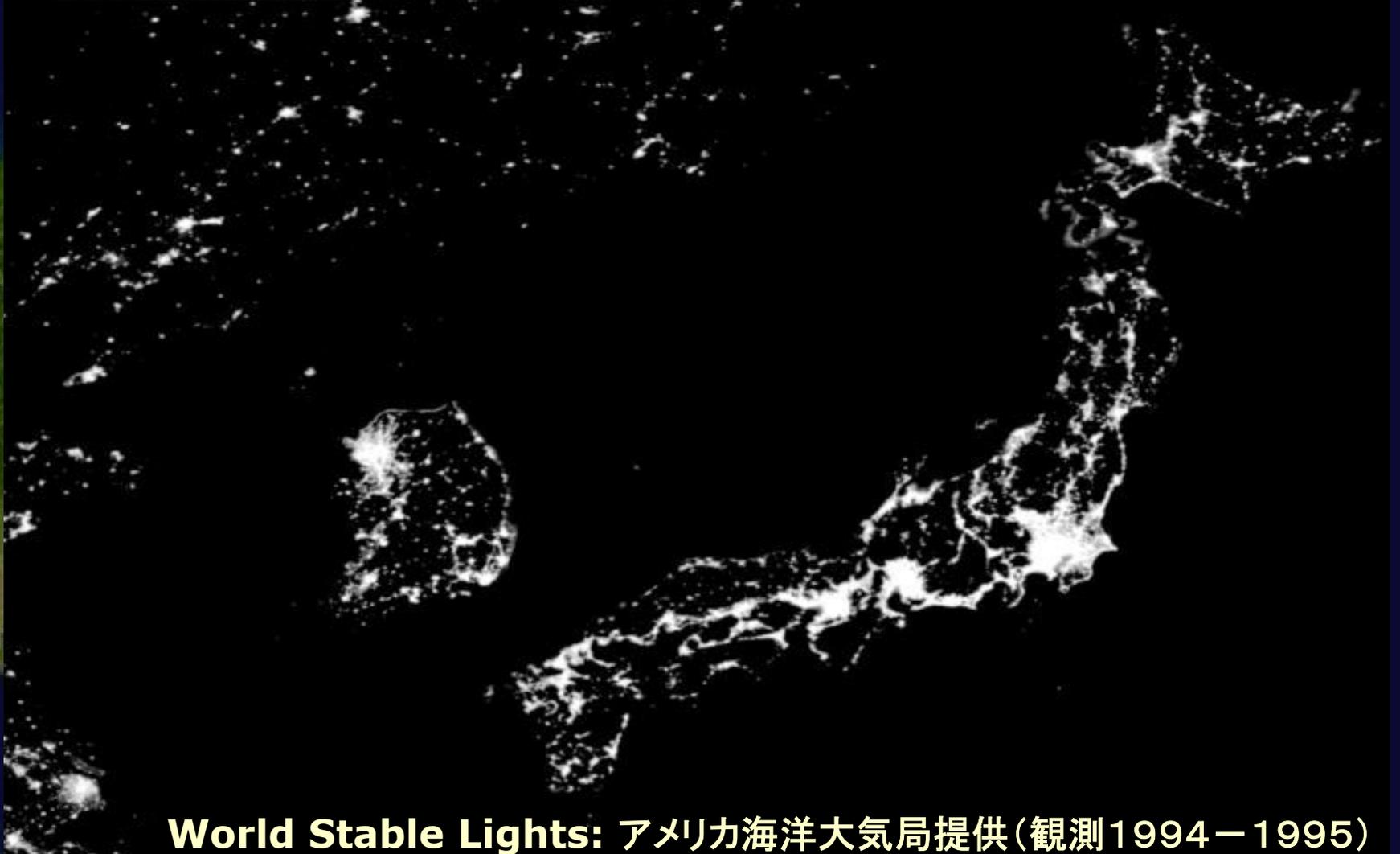
IKONOS衛星画像 SpaceImaging 社提供 <http://www.spaceimaging.com/>

トゥルーカラー観測



背景画像: Terra/MODIS, Blue Marble: NASA Earth Observatory Team 提供

地球上の光源の観測



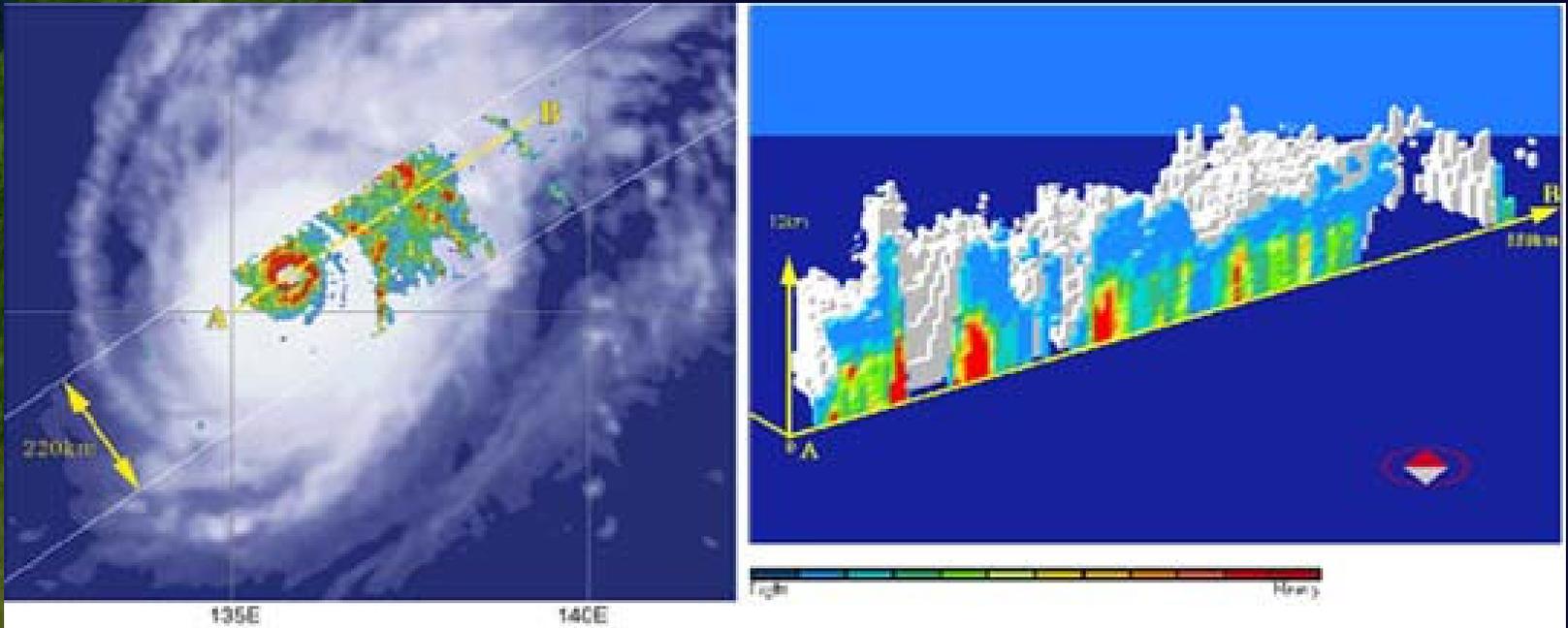
World Stable Lights: アメリカ海洋大気局提供(観測1994—1995)

能動型センサ



- 能動的に電磁波（マイクロ波）を発生し、対象物からの後方散乱を観測する。
- 検出したい対象物のサイズに応じて波長を決定する。
- 波長によっては雲や土壌を透過する。

降雨を観測する



TRMM衛星画像. 宇宙開発事業団提供

- 降雨の3次元構造が、マイクロ波リモートセンシングを用いて初めて測定できた。

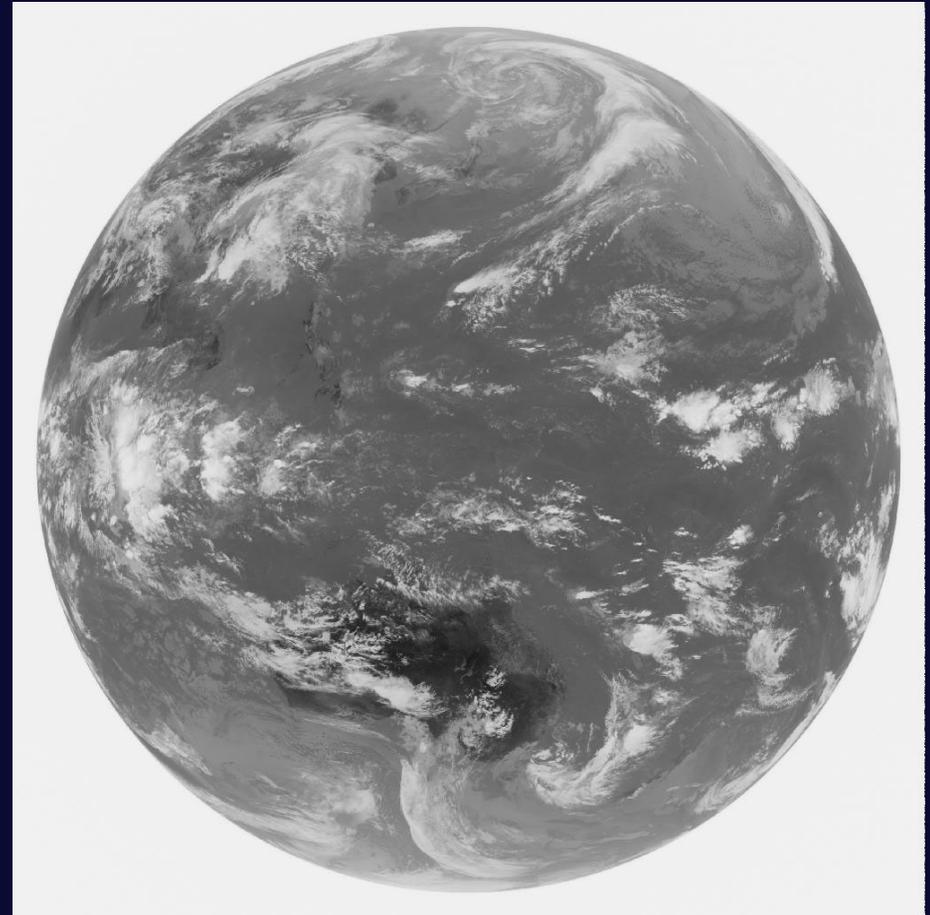
電磁波の放射を利用する場合



- 地球表面の温度(300K)に対応した $9.7\mu\text{m}$ 付近の熱赤外域の放射を観測.
- 昼夜を問わずに輝度温度を観測可能.
- 雲や火山などの観測に有用.

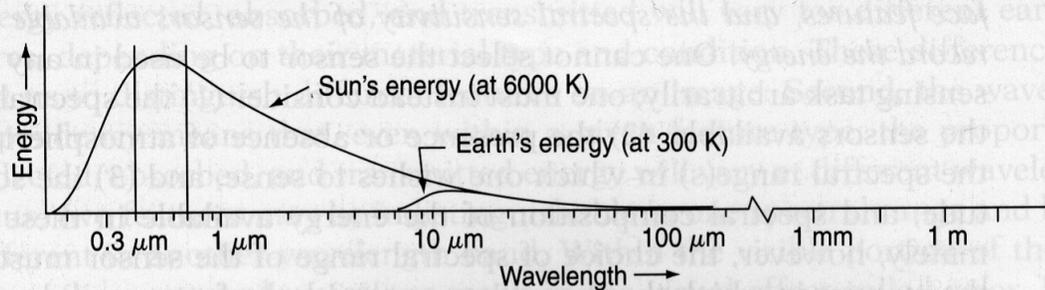
放射光による観測

- 地球からの**熱赤外域の放射光**を観測。
低温ほど白く表示。
 - 高く厚い雲ほど白く表示される。
 - オーストラリアは日射で高温となり、黒く表示される。
 - 雲のおおよその高度が推定できる。

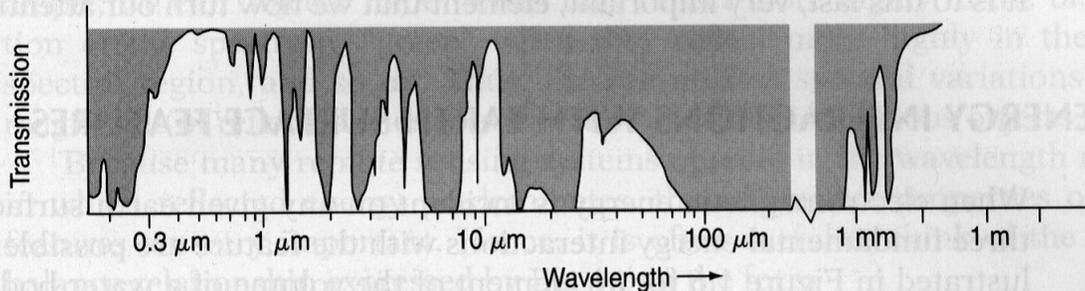


大気の窓

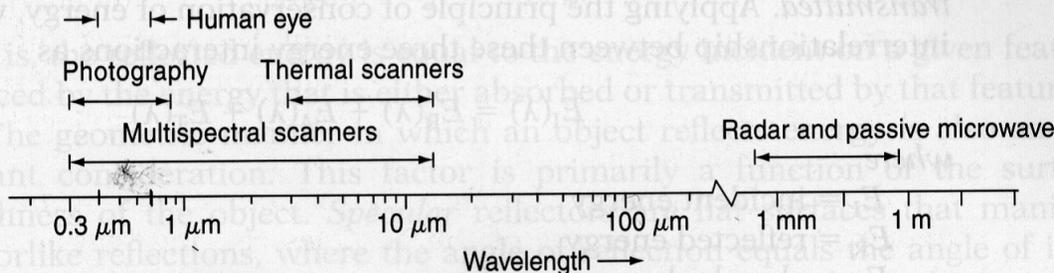
- 可視域・赤外域・おおよびマイクロ波域で、大気の透過率が高い(大気の窓)ため、この範囲を観測に利用できる。



(a) Energy sources



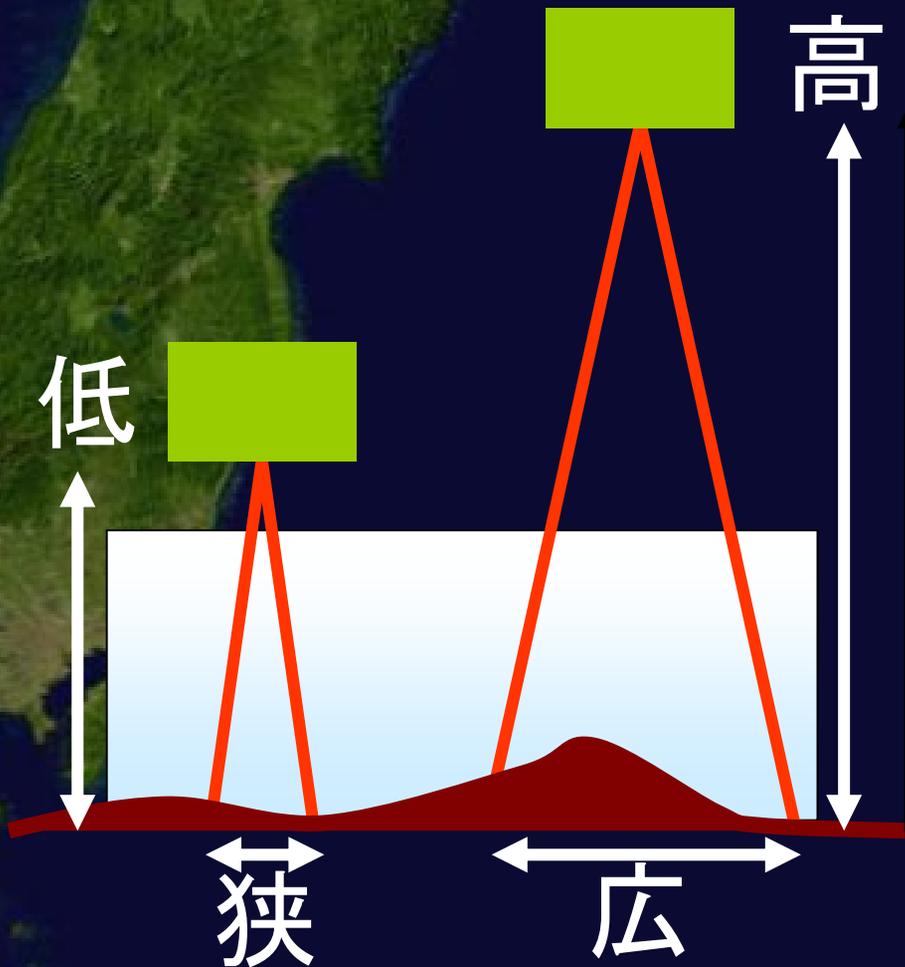
(b) Atmospheric transmittance



(c) Common remote sensing systems

“Remote Sensing and Image Interpretation” から抜粋

衛星軌道高度と分解能



- 衛星軌道高度が低いほど分解能は高い。
- 衛星軌道高度が高いほど観測範囲が広い。
- 最適なバランスは用途による。

空間特性

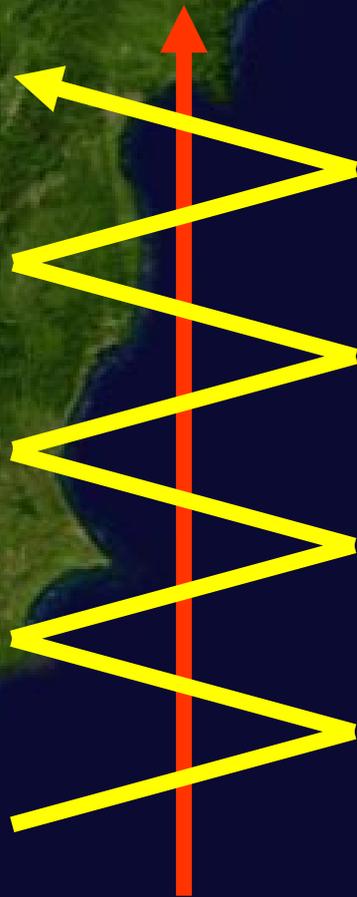
- 空間分解能と観測の広域性や網羅性が一種のトレードオフの関係.
 - 静止気象衛星 (分解能 1 km) の観測幅は地球の直径以上.
 - 超高分解能衛星 (分解能 1 m) の観測幅は約 10 km.
- 両者の最適なバランスは利用目的によって決まる.

時間特性

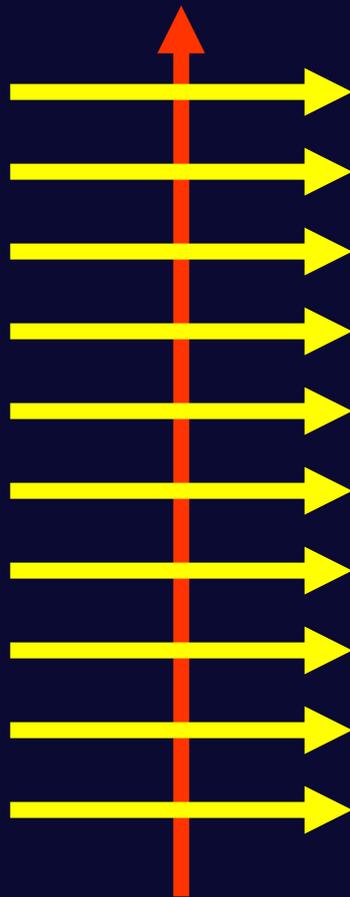
- 観測頻度と観測可能地点が一種のトレードオフの関係.
 - 静止気象衛星は最短30分ごとに観測可能 ↔ 極地方や地球の裏側は観測不能.
 - 極軌道衛星は地球の任意の場所を観測可能 ↔ 観測頻度は1日(場合によっては10日以上)と低くなる.

受動型センサの種類

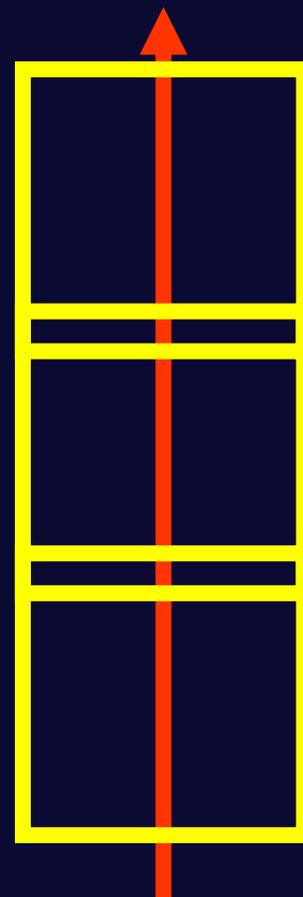
スキャンミラー式



プッシュブルーム式



イメージング式



概要

1. はじめに
2. リモートセンシングの概要
3. リモートセンシング画像情報処理
4. リモートセンシングに特徴的な画像情報処理問題
5. 画像情報処理から時空間情報処理へ
6. おわりに

前処理

- 生データから(目視・自動)画像解析に適した形のデータに変換する.
- 信頼性の高い精密な前処理は地味ではあるが基礎的な研究として重要.
 1. 放射量補正
 2. 幾何補正・地図投影・オルソ投影
 3. センサ補正・キャリブレーション

ビジュアライゼーション(1)

- リモートセンシングの利用形態として、人間が画像を目で「読み」判断を下す方法はいまだに主流である。ならば、実用的なアプローチとして、
 1. 画像の判断は専門家の知識・技術に任せることにして、
 2. 画像情報処理の役割は、人間が読みやすいデータの生成作業支援。

ビジュアライゼーション(2)

- 基本的な画像処理手法は、既に幅広く活用されている。
 - ヒストグラム平滑化, コントラスト強調, エッジ強調, 知覚色空間に基づく擬似カラー表示など.
 - ステレオペアによる3次元構造の表示.

画像特徴空間のビジュアライゼーション等, まだ研究課題も多く残っている. 認知も考慮する?

形状解析

- 道路や壁面などの人工物の検出.
- 宇宙から遺跡を探す宇宙考古学への応用. 特にマイクロ波レーダは土壌を透過し, 地中構造の発見に有効.
- 流体(雲・海流)の渦形状等の検出.



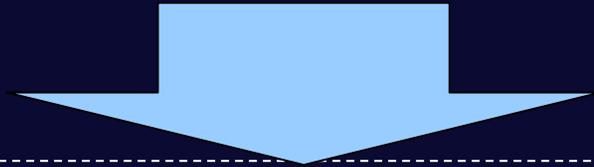
NASA SIR-C/X-SAR on Space Shuttle

特徴抽出

- 一般的な画像に用いられる特徴抽出法
 - 次元削減のための主成分分析.
 - 多重解像度構造の抽出のためのウェーブレット変換.
 - 地表や雲領域の表面特性を計測するテクスチャ解析.
- 分類・統計・データベースへの処理

データベース

大量の観測データが日々蓄積されるため、データベースの構築は本質的に重要。



- 現在のところ観測日時などのメタデータによる検索がほとんど。
- 画像内容に基づく検索にはいくつかの研究があるが、まだ実用的ではない。

類似画像検索

- 雲パターンの類似性に基づく検索機能.
- 過去の事例に基づき未来の予測のための仕組み.

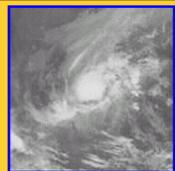
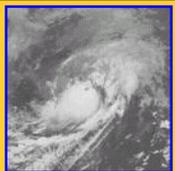
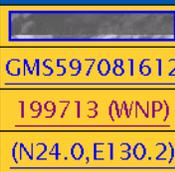
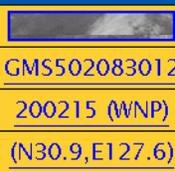
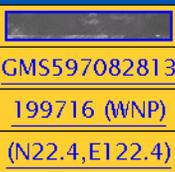
<http://www.digital-typhoon.org/>

北本 朝展 @ 国立情報学研究所 (NII) 検索 | サイトマップ

デジタル台風: 類似画像ビュー

NII > ホーム > デジタル台風 English

類似度による検索

Query 1	1	2	3	4
				
GMS596091711	GMS599100605	GMS502070112	GMS501082806	GMS597091810
199617 (WNP)	199920 (WNP)	200205 (WNP)	200112 (WNP)	199720 (WNP)
(N22.1,E128.8)	(N18.9,E118.4)	(N17.3,E132.3)	(N20.4,E143.6)	(N30.1,E141.8)
940 hPa / 85 kt	970 hPa / 65 kt	970 hPa / 65 kt	975 hPa / 60 kt	965 hPa / 70 kt
5	6	7	8	9
				
GMS595101209	GMS598121403	GMS595100213	GMS502030317	GMS599042905
199516 (WNP)	199815 (WNP)	199515 (WNP)	200202 (WNP)	199902 (WNP)
(N18.7,E108.3)	(N13.5,E108.3)	(N19.4,E113.0)	(N10.6,E134.4)	(N17.2,E113.5)
990 hPa / 50 kt	1002 hPa / 0 kt	985 hPa / 50 kt	955 hPa / 75 kt	990 hPa / 45 kt
10	11	12	13	14
				
GMS597081612	GMS502083012	GMS596051415	GMS597092408	GMS597082813
199713 (WNP)	200215 (WNP)	199603 (WNP)	199721 (WNP)	199716 (WNP)
(N24.0,E130.2)	(N30.9,E127.6)	(N16.9,E125.0)	(N15.7,E110.2)	(N22.4,E122.4)
945 hPa / 85 kt	950 hPa / 75 kt	930 hPa / 95 kt	988 hPa / 46 kt	955 hPa / 75 kt

連絡先 | このサイトについて | 更新情報

データマイニング

- 大量に蓄積されたデータの中から有用な規則性・不規則性を機械学習を用いて発見する技術。
- リモートセンシングデータに対するデータマイニングの試みは既に始まっている。
- まだ数%しか利用されていない過去のデータを掘り返す有望な技術である。

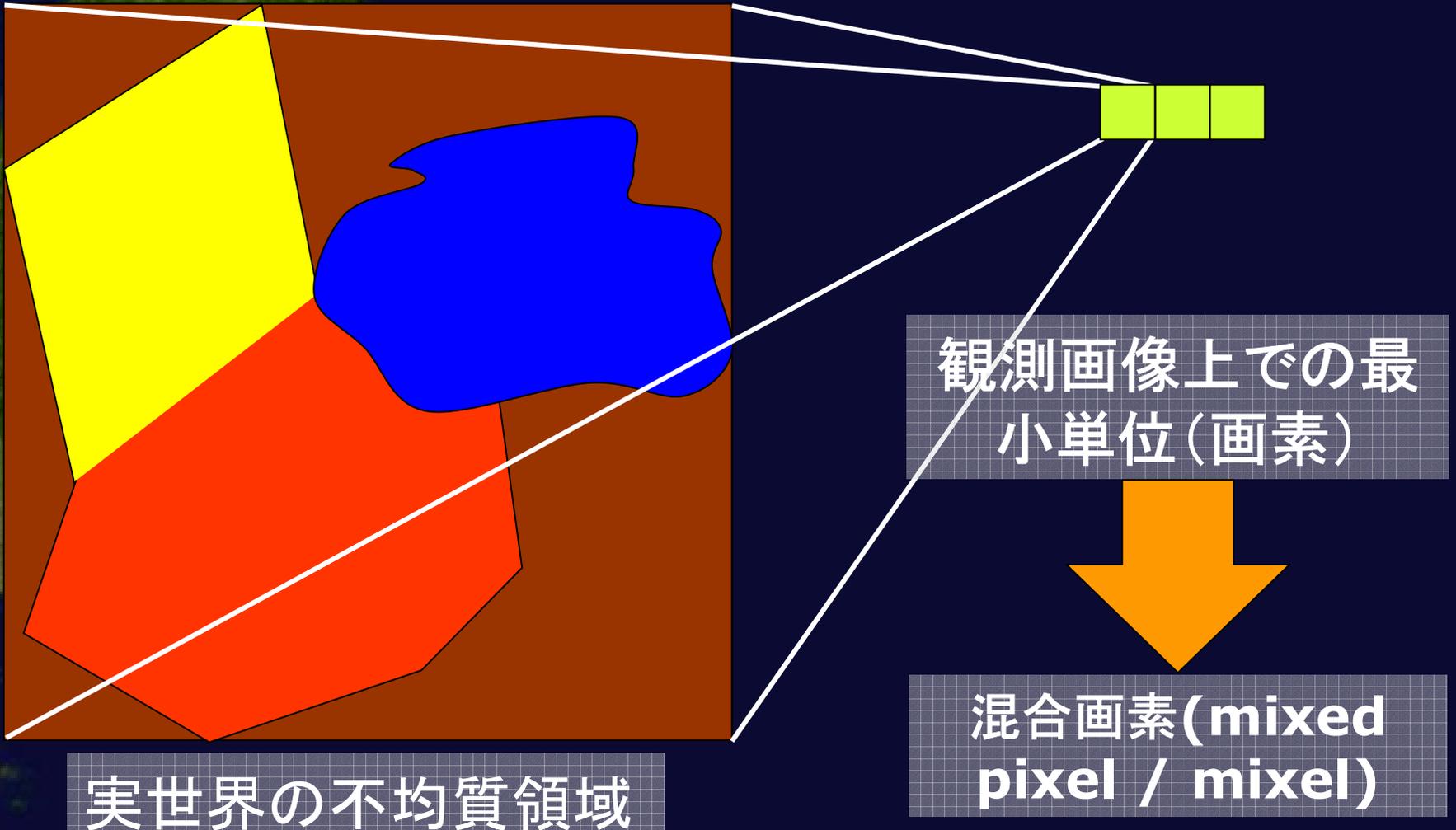
概要

1. はじめに
2. リモートセンシングの概要
3. リモートセンシング画像情報処理
4. リモートセンシングに特徴的な画像情報処理問題
5. 画像情報処理から時空間情報処理へ
6. おわりに

スケール

- スケールが大きく異なる対象物がリモートセンシング画像中に混在する.
- 観測結果はスケールに依存する.
- どのスケールで観測しても同じという特別な場合はフラクタルと呼ばれる.
- スケールに依存する複数の観測データの融合(fusion)も重要な課題となる.

ミクセル問題



ミクセル問題の重要性

- 1画素の大きさが 1m^2 から 1km^2 を越えるようなりモートセンシング画像には、必ずミクセルが含まれると考えてよい。
- 画素より小さなスケールの領域および画素内部を横切る境界が問題。
- 複数の性質が混合するため、純粋な場合とは全く異なる性質を示すことになる。
- 「画素へのこだわり」

問題設定

$$\mathbf{x}(t) = \sum_{m=1}^M a_m(t) s_m(t) + \mathbf{n}(t) = \mathbf{S}(t) \mathbf{a}(t) + \mathbf{n}(t)$$

1. 観測値 $\mathbf{x}(t)$ は**既知**.
2. 各構成要素の信号値 $\mathbf{S}(t)$ は**未知**.
3. 各構成要素の比率 $\mathbf{a}(t)$ も**未知**, ただし
4. 比率 $\mathbf{a}(t)$ は**凸結合条件** (正值かつ総和が1)を満たす.

主なアプローチ

1. 制約つき最小2乗法

- 一般化逆行列法, 制約つきで解く方法

2. ファジーメンバーシップ関数法

- 混合分布推定の事後確率を代用

3. 幾何モデルに基づく方法

- 均質領域かつ境界が単純な場合

4. 確率モデルに基づく方法

- 制約つき独立成分解析, ミクセルの確率モデル

概要

1. はじめに
2. リモートセンシングの概要
3. リモートセンシング画像情報処理
4. リモートセンシングに特徴的な画像情報処理問題
5. 画像情報処理から時空間情報処理へ
6. おわりに

マルチスペクトルから ハイパースペクトルへ

マルチスペクトルセンサ

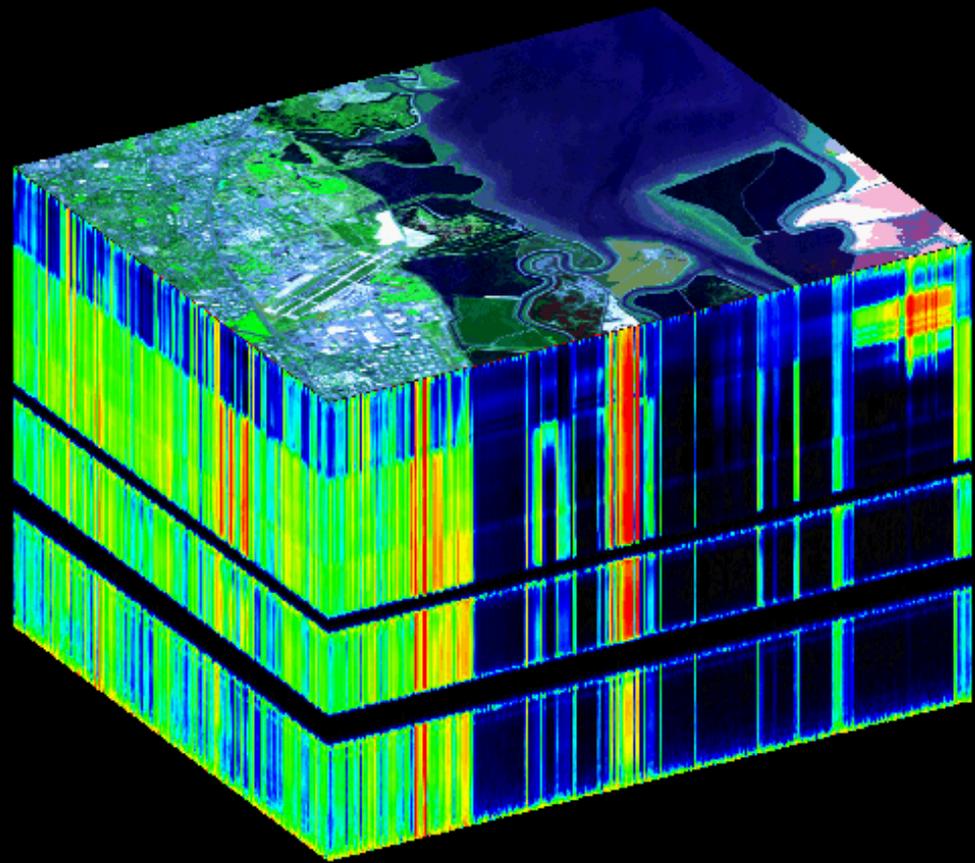
- 可視から赤外を**4**
—10個程度の観測帯域(バンド)に分割.
- 従来の代表的な地球環境観測衛星はこのタイプ.



ハイパースペクトルセンサ

- 可視から赤外を**数**
十から百個以上の観測帯域(バンド)に分割.
- 非常に微細なスペクトル反射率の相違も測定可能.

ハイパースペクトルセンサ



AVIRIS Image Cube: NASA/JPL/Caltech 提供

- AVIRIS: 224の隣接したバンドを備えたセンサ.
- 表面が400nm, 底面が2500nmの波長での観測.
- 連続的なスペクトル特性を用いた, より詳細な地表被覆分類が可能.

高次元特徴空間

- バンド数が数十以上になると、アドホックな方法では対処できない。
- 高次元特徴空間での性質（次元の呪い）などを適切に扱う手法が必要。
- 波長方向の次元には、従来のマルチスペクトルデータのための手法がそのまま使えるのか？

時空間情報処理へ

1. 波長方向と空間方向とを加えた3次元空間データ処理.
2. 波長方向, 時間方向, 空間方向とを加えた4次元時空間データ処理.
3. さらに5次元時空間データ処理へ.



従来の画像処理の範疇を越えた種類のデータとして捉えるべき.

地理情報学との融合

- 地理的データ(画素が地理的位置に対応)
- 地理的位置に関する事前情報を活用する.

リモートセンシングデータは単なる画像データとしてではなく、地理的な(時)空間データとして扱うべき.

ダイナミックに変動する事象にも迅速に対応可能なGIS(地理情報システム)への入力.

GISとリモートセンシング

地理情報(GIS)

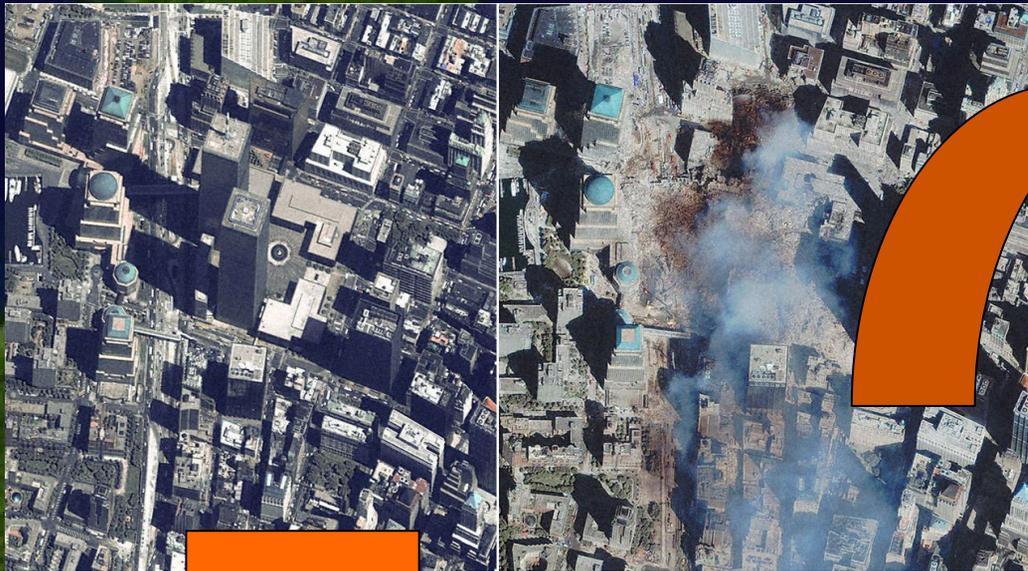
- 伝統的にはベクトル型データ中心.
- 点・線・領域などを表現し蓄積.

リモートセンシング

- ほぼすべてがラスタ型データ.
- 画素を最小単位とする情報を蓄積.

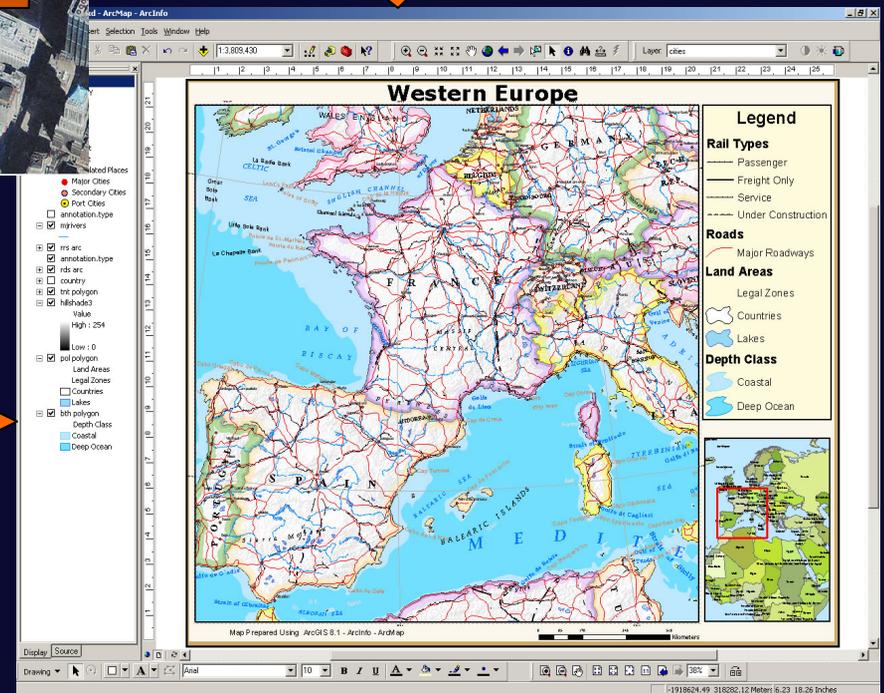
リモートセンシングデータを自動解析し、地理情報システムを動的かつ網羅的に更新する.

地球の準リアルタイム監視



災害発生後ただちに、
地理情報システムを
更新しプランニング。

衛星観測は広域性・網
羅性に優れ、地政学的
条件に左右されない。



時空間情報処理へ

1. 画素と地理的位置に関する事前情報を考慮する画像処理手法.
2. 地理情報データベースや他の時空間データベースとの連携が必要.



従来の画像処理の範疇を越えた種類のデータとして捉えるべき.

PRMU分野からの貢献

- データの爆発的な増大により, 目視判読は最重要分野以外への適用が困難.
- 画像処理・パターン認識技術に基づく画像分類法へのニーズは高い. 特に,
 - ハイパースペクトル化による高次元特徴空間の高速・高精度な画像分類法.
 - 周囲・場(context)の情報を考慮した画像分類法.

「画素へのこだわり」

PRMU研究者

$$x = y + \varepsilon$$

ε は雑音とする.

1. **問題領域独立**の万能アルゴリズムを適用.
2. このアルゴリズムで説明できない成分は「**雑音**」として処理.

リモートセンシング研究者

$$x = y_1 + \varepsilon$$

$$x = y_1 + y_2 + \varepsilon$$

$$x = y_1 + \dots + y_n + \varepsilon$$

グランド・シートウルースを**物理モデル**を用いて徹底的に説明し尽くす.

問題領域依存性

- リモートセンシング画像の性質は本質的に問題領域依存である。
- リモートセンシング研究者は問題領域依存の画像生成物理モデルを精緻に作り上げることに関心がある。
- 問題領域依存モデルと統計的学習モデルとをどのように接続するか？

PRMU分野からの貢献 Revisited

- 1970年代から1980年代初頭にかけて、黎明期には多くの貢献があった。
- 個々の専門分野への分化が進むとともに、PRMU分野からの参入は減少した。
- ハイパースペクトルやデータマイニングなどの問題設定には、PRMU的にも興味深い研究課題があるのではないか？

概要

1. はじめに
2. リモートセンシングの概要
3. リモートセンシング画像情報処理
4. リモートセンシングに特徴的な画像情報処理問題
5. 画像情報処理から時空間情報処理へ
6. おわりに

おわりに

1. リモートセンシングデータは素手で扱うには未だ厄介だが、少なくともハードウェアの能力的な問題はかなり解消した。
2. 高分解能衛星やハイパースペクトルセンサなどへの新しい動きが生まれている。
3. GPSやGIS等との組み合わせによるフィールドワークとの融合は魅力的。
4. 普及のためには「使いやすいデータを探しやすい形で」提供する必要があると考える。

学術雑誌

- PRMUに馴染みの深い学術雑誌の他に,
 1. IEEE Geoscience and Remote Sensing (GRS)
 2. Int. J. of Remote Sensing
 3. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing
 4. Remote Sensing of Environment
 5. 日本写真測量学会
 6. 日本リモートセンシング学会

国際会議

1. IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)
2. SPIE (The International Society for Optical Engineering)
3. IAPR-TC7
4. その他, 個々の専門分野における実証的な研究成果を網羅するのは不可能.