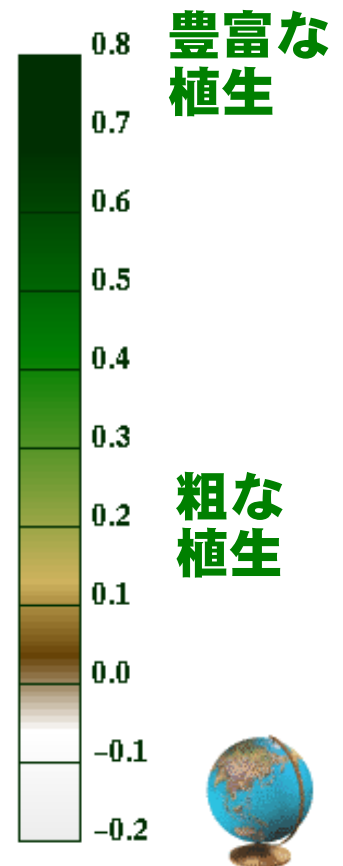
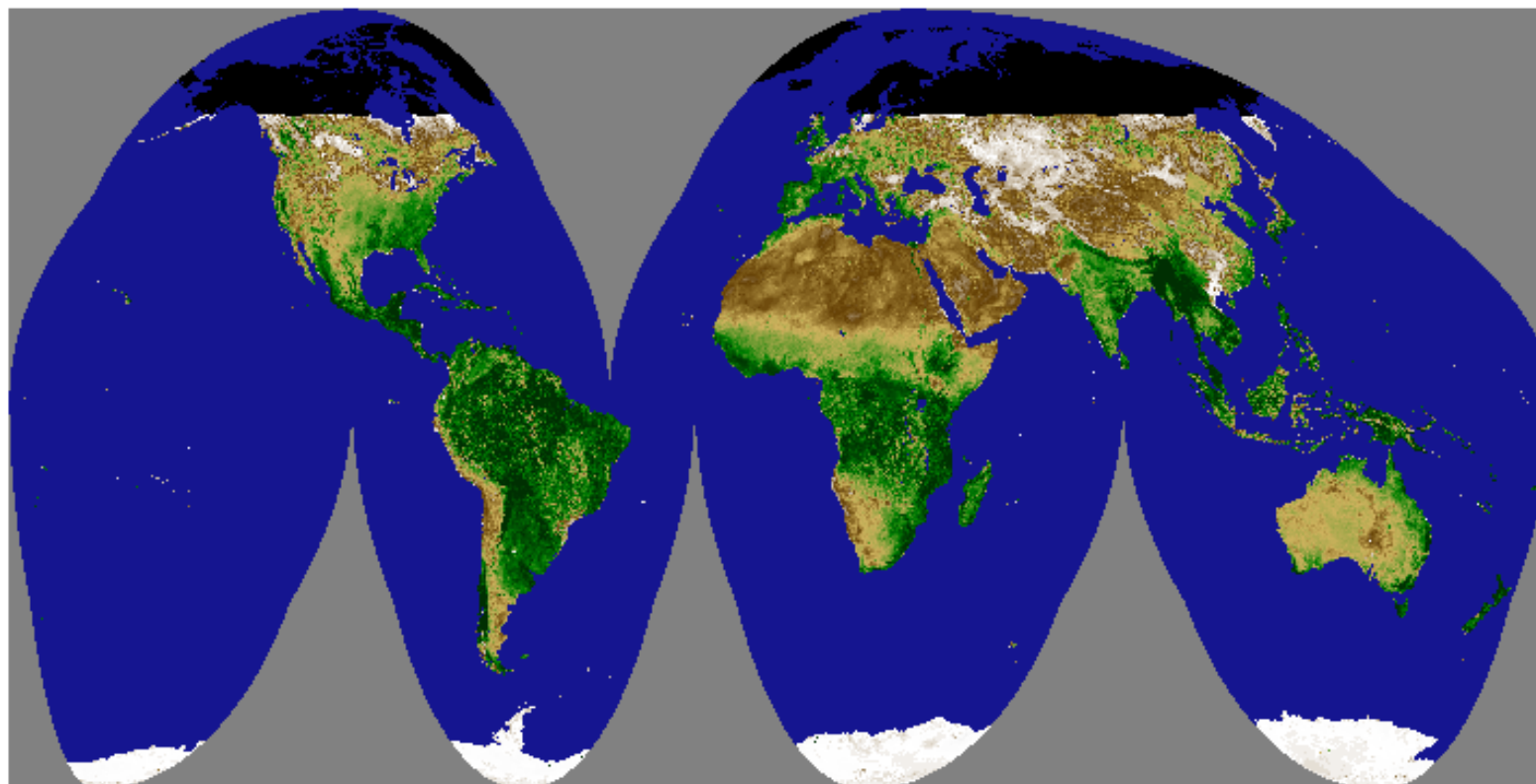


—宇宙から見た地球の変化— グローバルデータセットによる環境変動

- NOAAシリーズのAVHRRデータから1981年以降の全球植生データセットが作成され公開されている



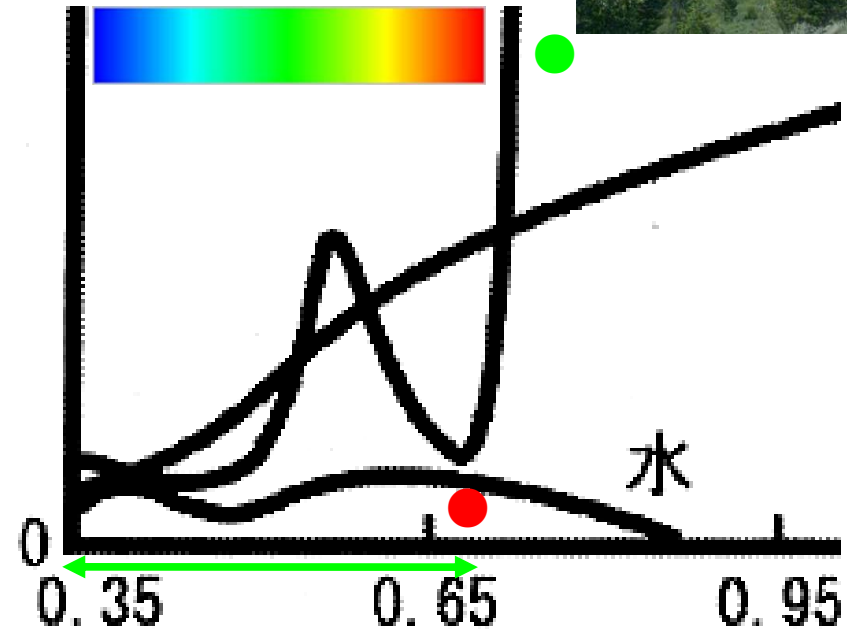
GLOBAL NDVI 1990/01/01-1990/01/10



衛星による植生観測の原理

なぜ、衛星で植生のことがよくわかるか？

- 赤の光を吸収
- 近赤外の光を反射

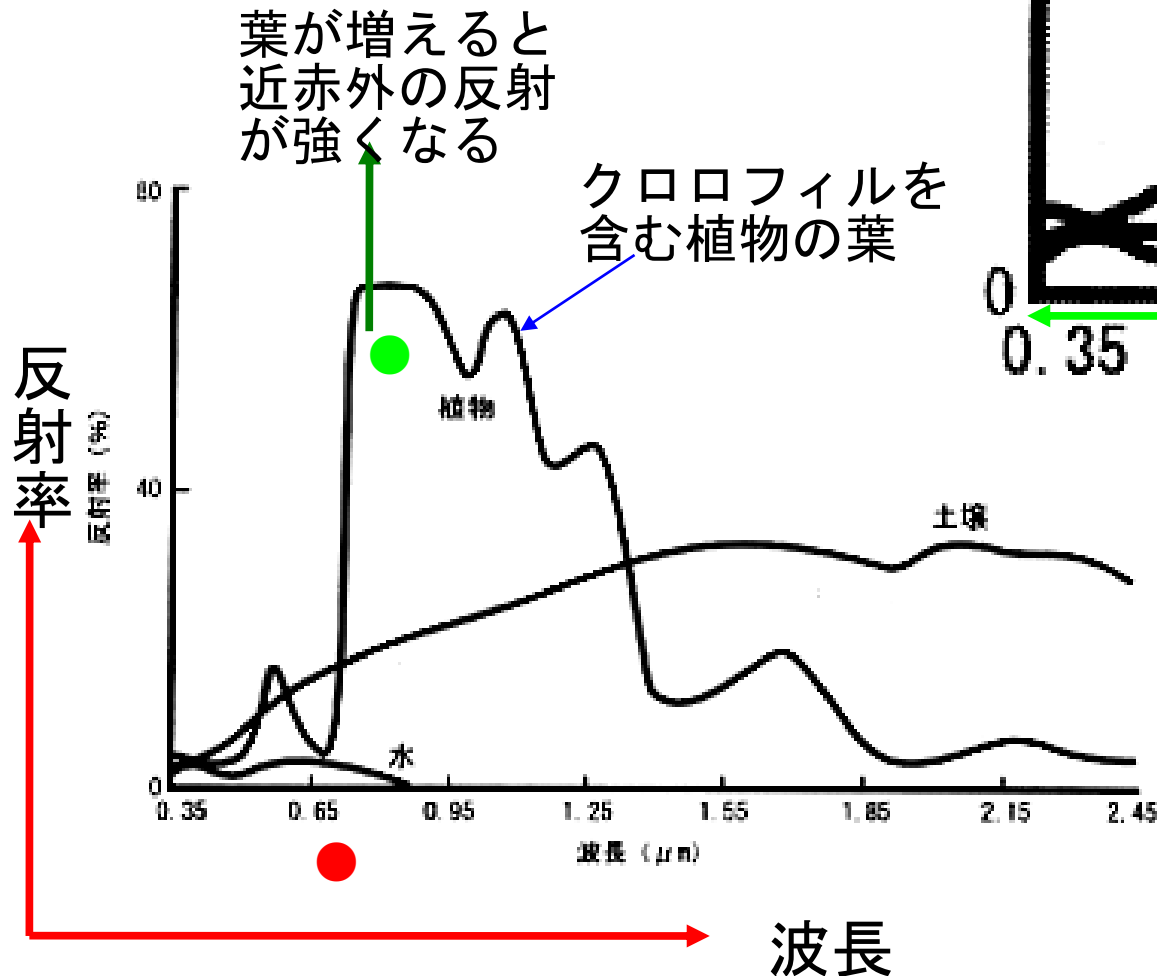


可視光

葉っぱがいっぱいについているほど近赤外の反射が大きい

赤と近赤外の反射率の比⇒植生指標

NDVI

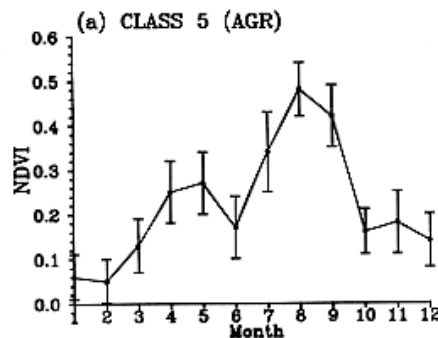


波長

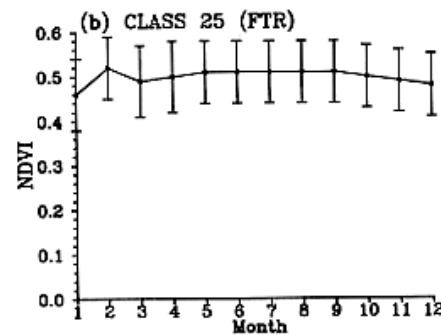
●植生帯ごとのフェノロジーの違い



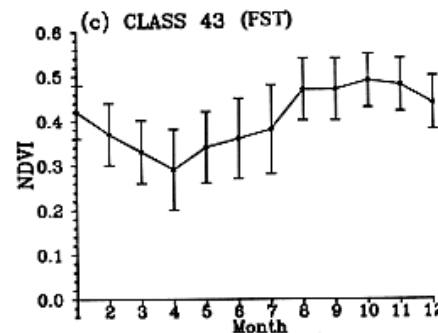
中国華北の農地は冬小麦と夏のコーンの二つのピークがある



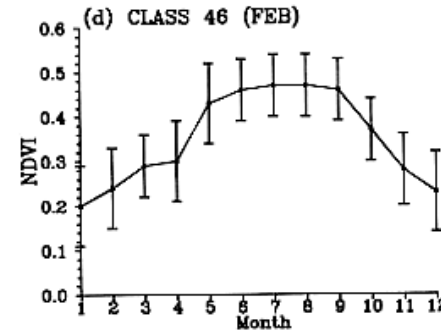
熱帯雨林は一年中NDVIが高い



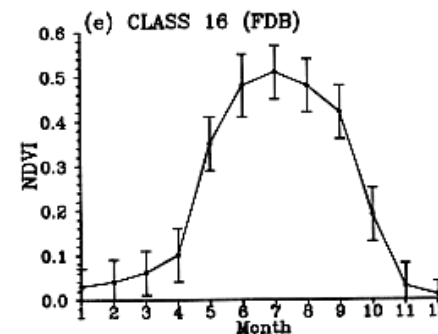
熱帯季節林は乾季と雨季の季節変化が明瞭（雨緑林）



照葉樹林（常緑広葉樹）は季節変化はあるが、全体としてNDVIは高い



落葉広葉樹林は明瞭な季節変化を持つ



これは北方林の常緑針葉樹、冬は雪に覆われる

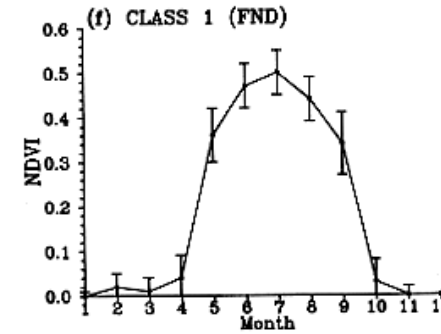


Figure 1 Spectral-temporal plots of selected Asian land cover types. (a) Agriculture fields, (b) Tropical Forest, (c) Sub-tropical forest, (d) Evergreen broadleaf forest, (e) Deciduous broadleaf forest, (f) Coniferous forest.

NDVI
の
大
き
さ

月

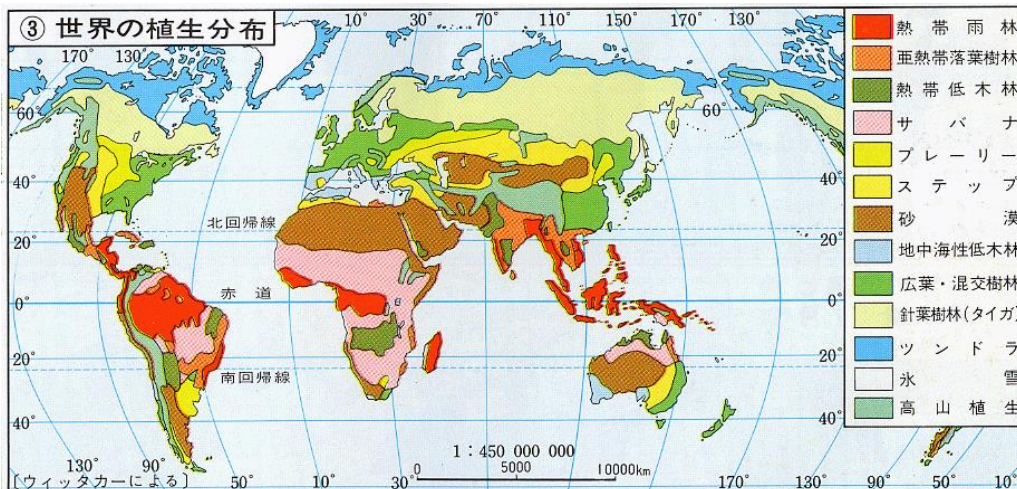
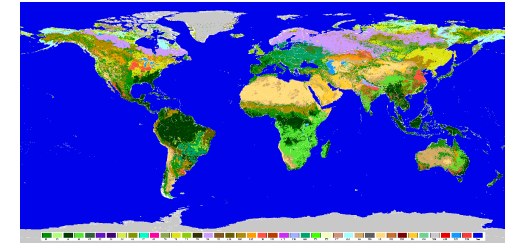
Kondoh (1995) より

植生観測の初期の成果(1980年代)

1980年代の半ばにGVI(NDVIデータセット)が使える様になり、様々な全球スケールの研究が行われるようになった

●衛星フェノロジーによる植生分布図の作成

- ・GVIは年間の植生指標(NDVI)の連続的な変化を表す
- ・植生帯ごとに、その季節変化のパターンは異なる
→衛星フェノロジー
- ・よってNDVIの季節変化を用いて、全球の植生区分を行うことができる(初期の成果Justice *et al.*, 1985)



●植生図は教科書で見たことがありますけれど...

●それは、数少ない現地観測と気象データ等を用いて、推定で描いた図

(帝国書院高等地図帳より)

衛星植生図

こういう地図ができたのは1980年代後半以降

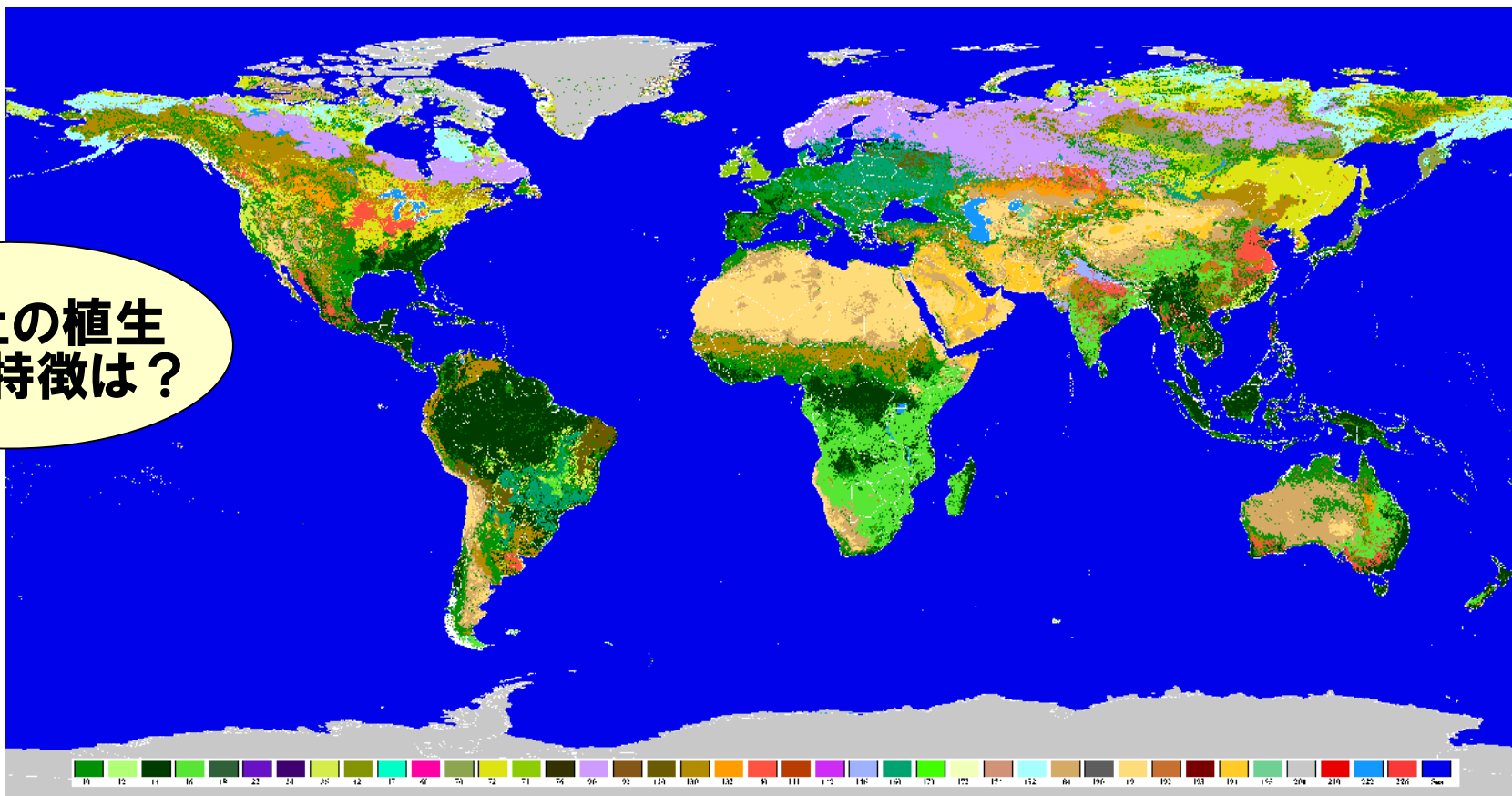


Tucker (1985) アフリカ
Justice *et al.* (1985) 全世界
Malingreau (1986) アジア
Townshend *et al.* (1987) 南アメリカ
Lloyd (1990) 全世界

これまでに、たくさんの植生図
が作られました。下の図は
CERESの建石先生による4分
分解能の全球土地被覆図

.....

地球上の植生
分布の特徴は？

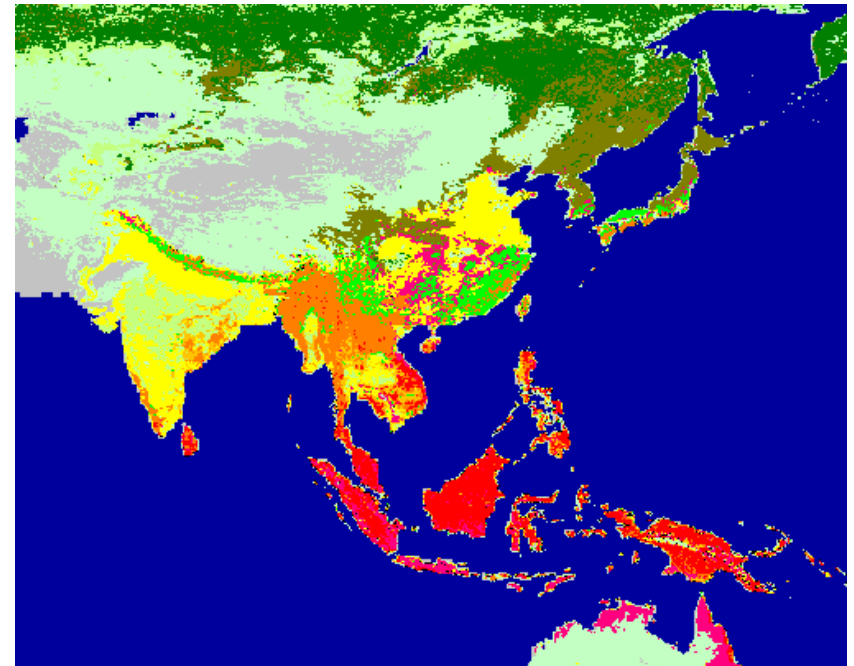
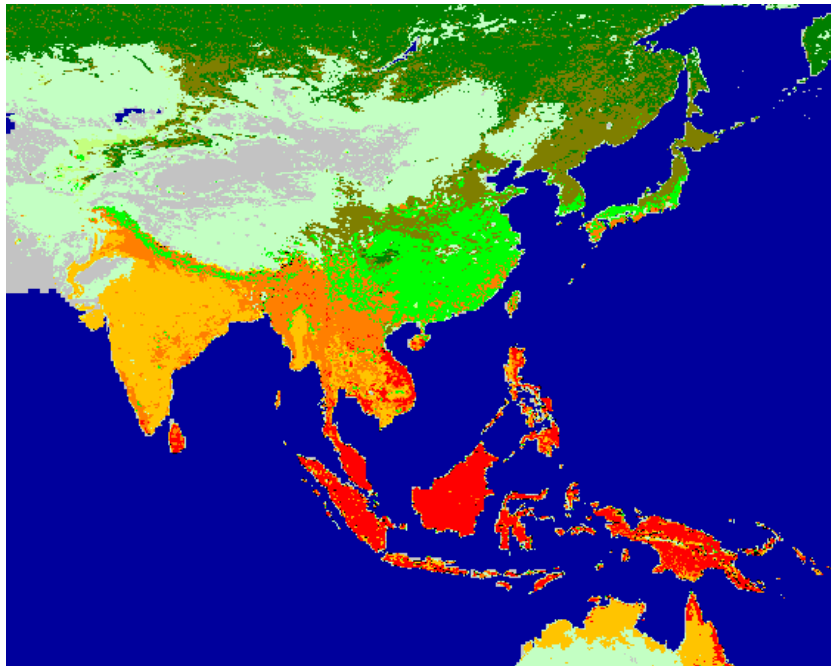


<http://www.cr.chiba-u.jp/database.html> グローバル4分土地被覆データセット

従来の植生図と何が違うか

- 全球を等しい精度でカバー
- 衛星データ撮影時の状況を記録
→ 年度ごとに作れば、変化がわかる
- デジタルデータであるので気候データと組み合わせて潜在植生の復元もできる

● 黄色: 農耕地、● 赤: 熱帯雨林、● 橙: 熱帯季節林、● 緑: 常緑広葉樹、● 緑: 落葉広葉樹、● 緑: 常緑針葉樹、● 緑: 草地、● 灰: 沙漠



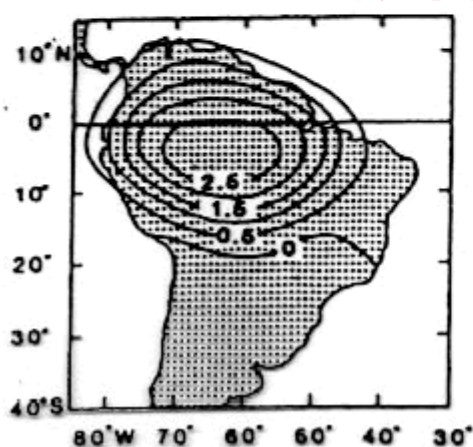
- これは、自然植生(左)と現土地被覆(右)
- インド、中国およびタイやミャンマーの中央平原で変化が大きい
→ 農業

(Kondoh, 1995)

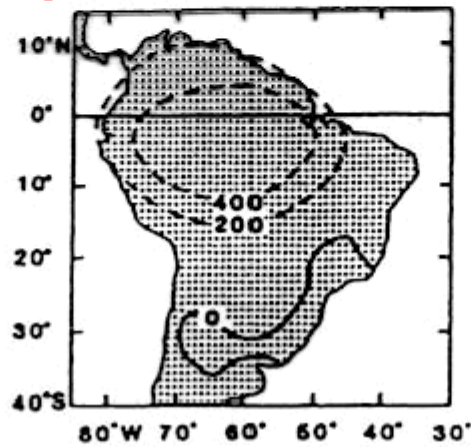
注) 自然植生図は気候と植生の関係を利用して描きました。現土地被覆には若干の誤分類もあります (東北平原)

土地利用の変化が気候に及ぼす影響

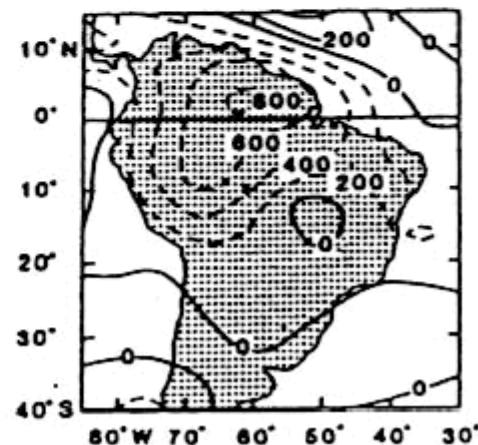
アマゾンの熱帯雨林を草地にすると...



(a) 気温が上昇
(a) Temperature increase (°C)



(b) 蒸発散量が減少
(b) Evaporation decrease (mm/y)



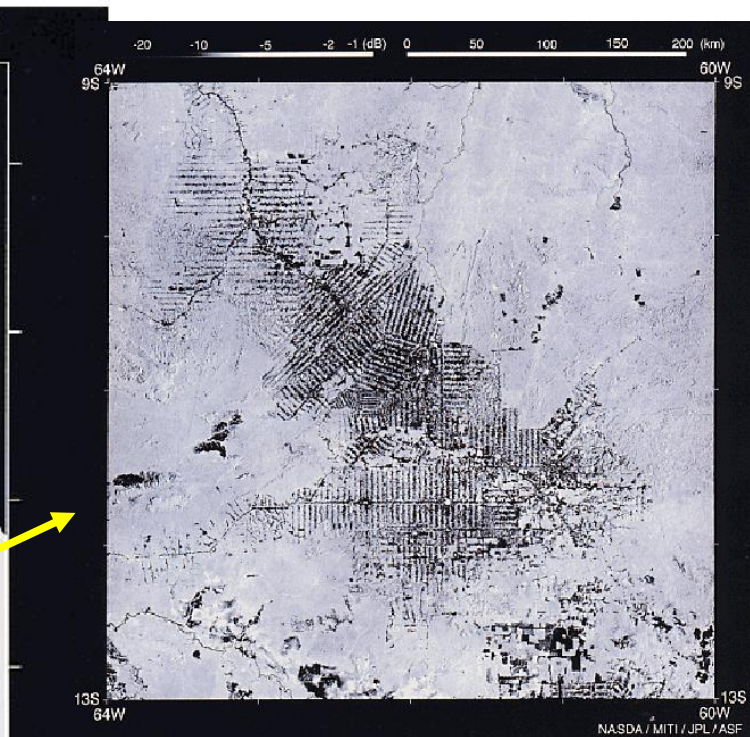
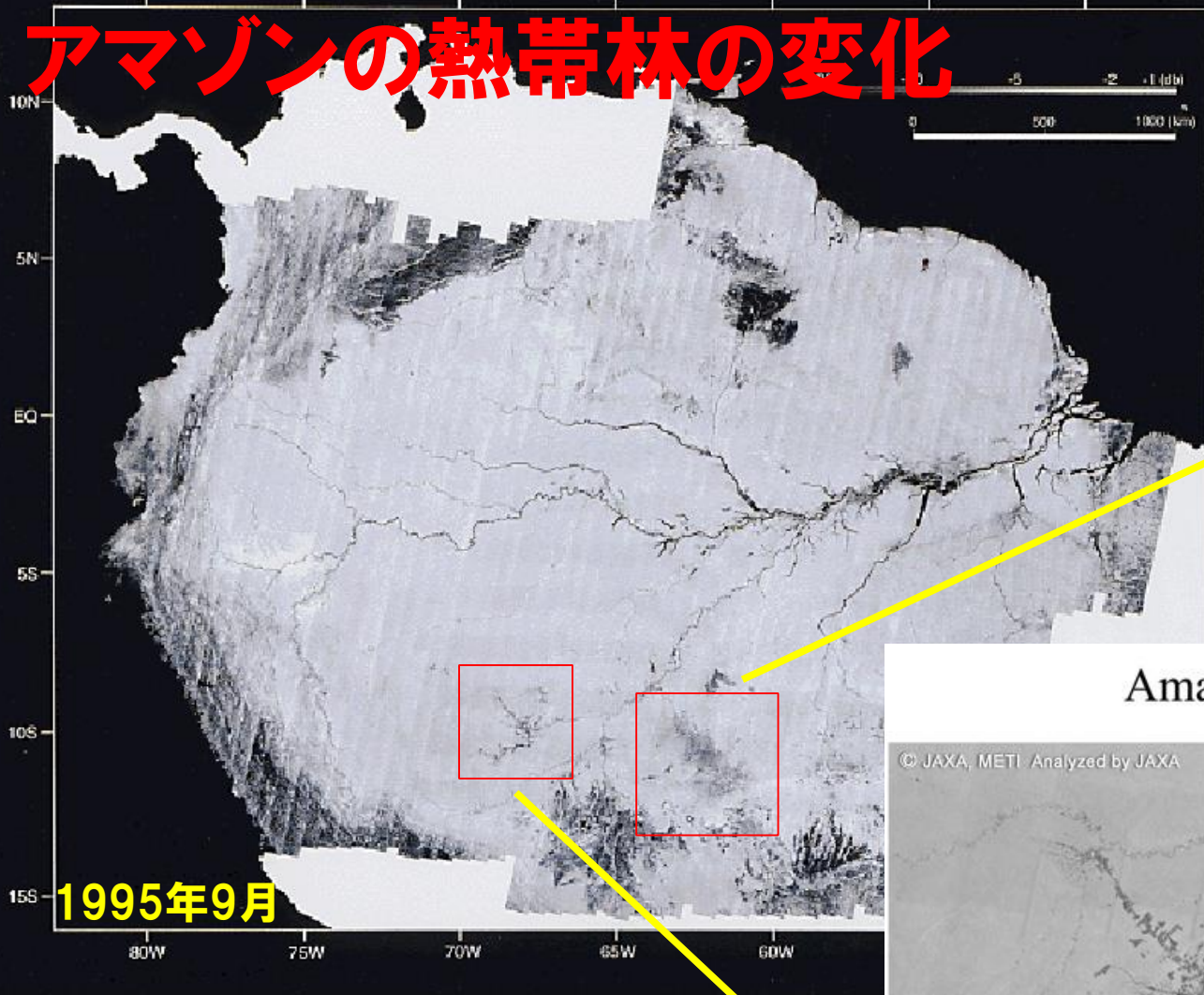
(c) 降水量が減少
(c) Rainfall decrease (mm/y)

☒ Predictions of the change in climate following a conversion of Amazonian rain forest to grassland (after Shukla et al. 1990).

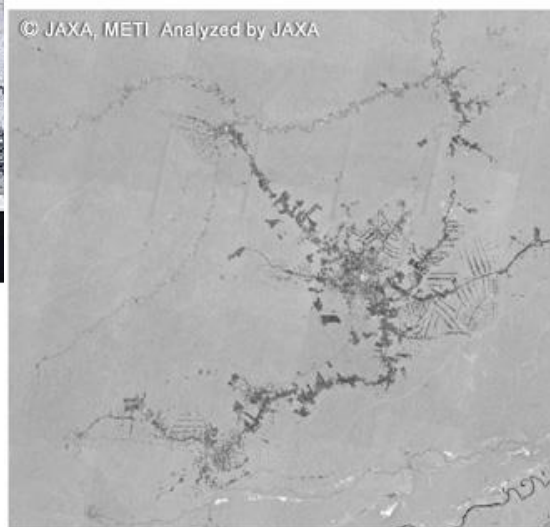
- ・人間による地球表層への最強のインパクトは土地利用の変化である
- ・土地利用の変化は環境へどのような影響を与えるのか

森林から草原や裸地になると地域の乾燥化を促す

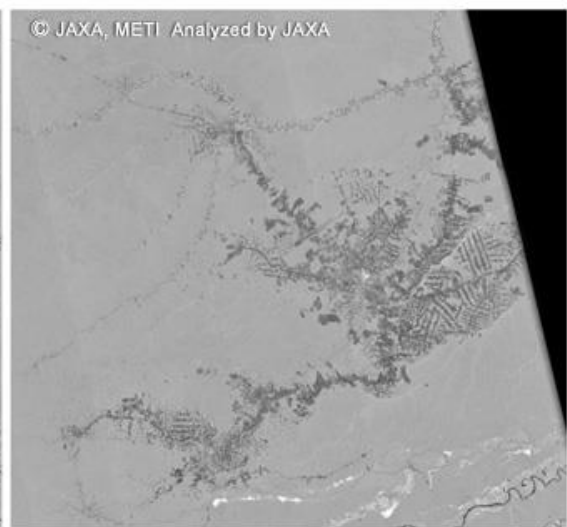
アマゾンの熱帯林の変化



Amazon mosaic(Rondonia area)



JERS (Sep/Dec, 1995, pixel spacing=100m)



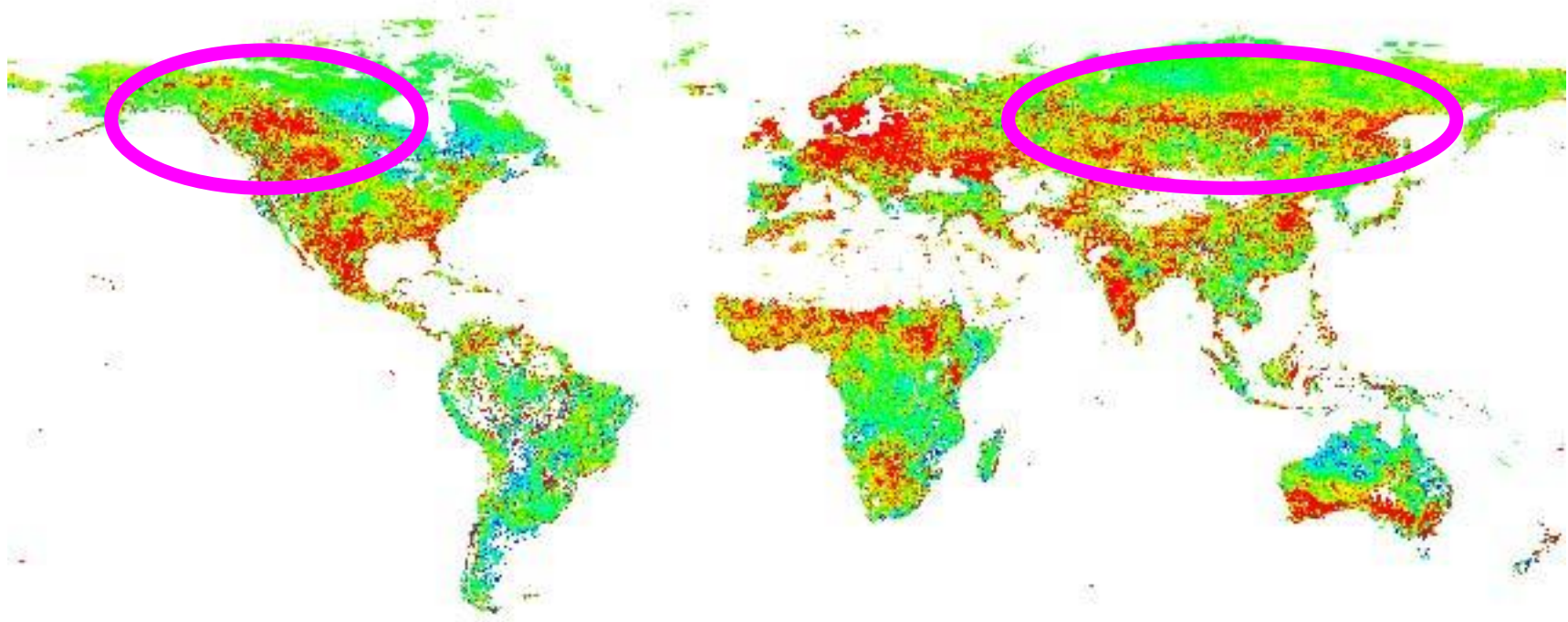
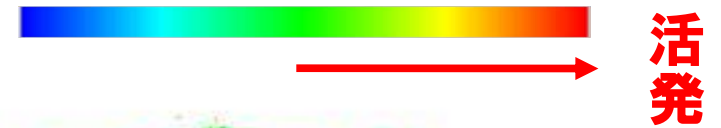
PALSAR (2006, pixel spacing=50m)

Mode : FBS41.5[deg]
Polarization : HH
Map projection : Mercator

1995年と2006年

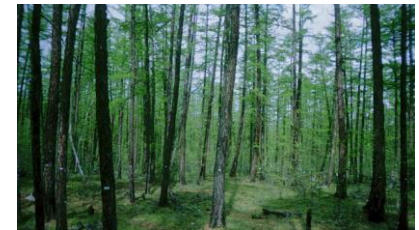
アマゾンとアジアでは水蒸
気のソースが異なるので森
林伐採の影響は異なる

● 北方林が活発化している



北方林が活性化していることは、1990年代半ばごろから多くの研究者により指摘され、その原因として「**温暖化により消雪の時期が早まったことが成長期間の伸長につながったこと**」と説明されている。(Myneni et al., 1997)

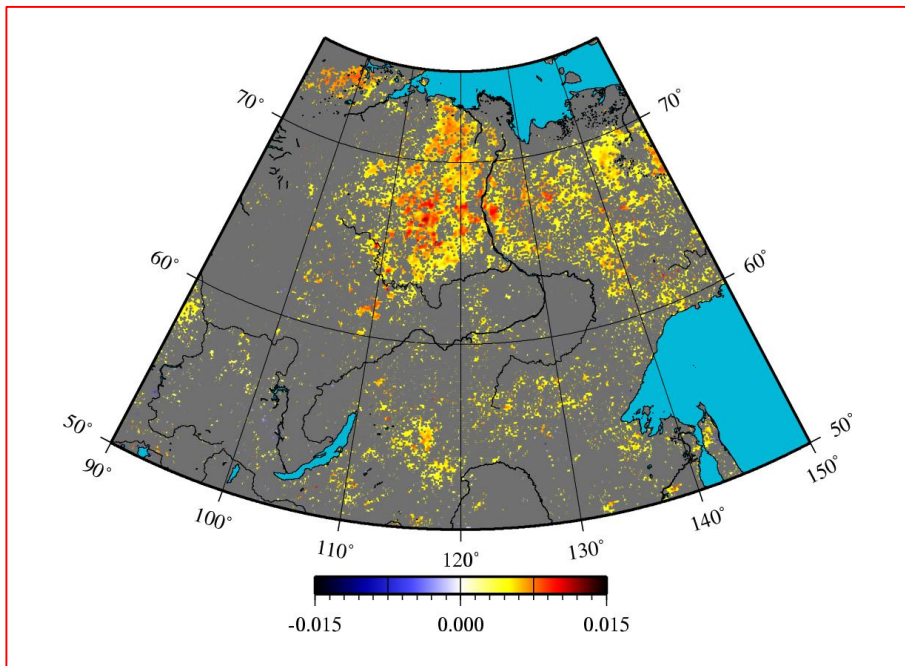
温暖化の影響の事例の発見



上の図は1982年から1993年の間の年間のNDVIの積算値のトレンド(近藤、2004)

衛星データを用いた別の指標
からは、エコトーン(タイガとツ
ンドラの境界域)における植生
変動を捉えることができた

それは何？



(酒井ほか、2007)

北方圏では、植生は確かに変わっ
ており、温暖化の影響が考えられる

Stow et al.(2004)

アラスカでは、ツンドラに灌木
が侵入しているようだ

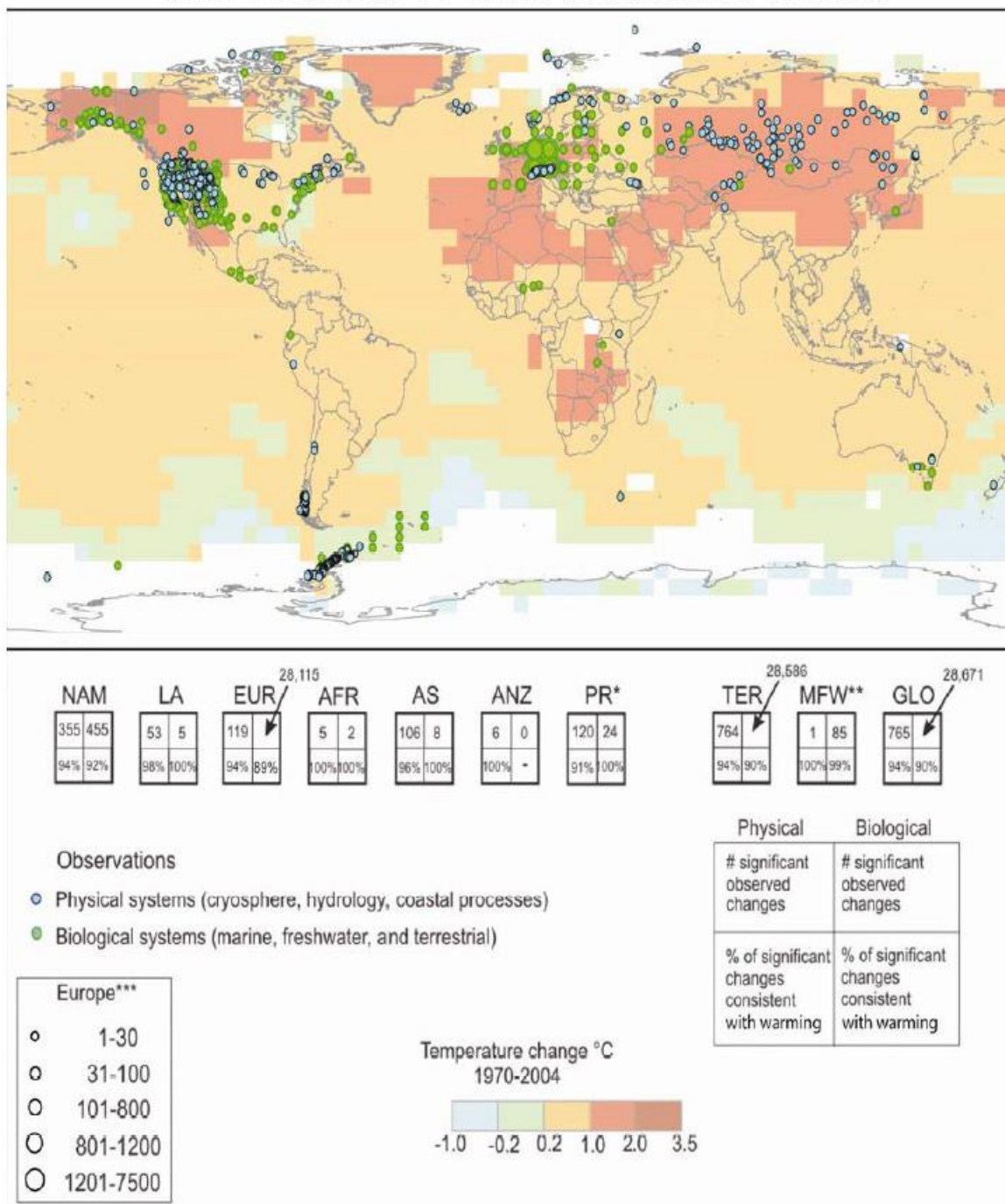


IPCC AR4 WG2

世界各地から
様々な
変化に関する
証拠が
集まって
きました



物理システム及び生物システムにおける変化と表面気温 1970-2004



● 生態系の変化の証拠
● 雪氷圏、水循環、沿岸域における変化の証拠

春の現象が見られる時期



この図は「不都合な真実」にも採用されていますね

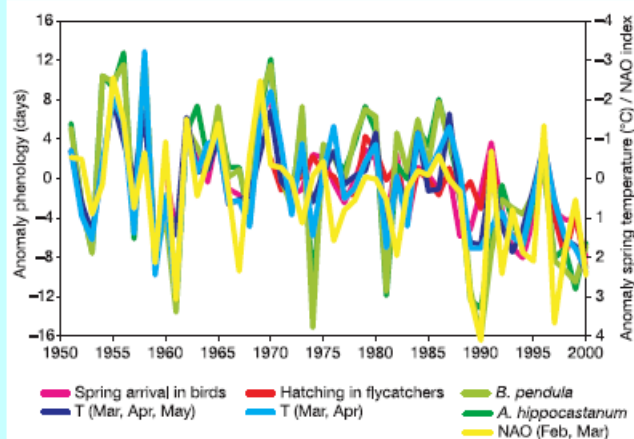


Figure 2 Anomalies of different phenological phases in Germany correlate well with anomalies of mean spring air temperature T and NAO index (by P. D. Jones, <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao.htm>). Temperature taken from 35 German climate stations. Phenological phases used: spring arrival in birds, island of Helgoland, North Sea; hatching in flycatchers (*Ficedula hypoleuca*), Northern Germany; and mean onset of leaf unfolding of *Aesculus hippocastanum* and *Betula pendula*.

冬の凍結日数が減ると、
外来種の数が増える

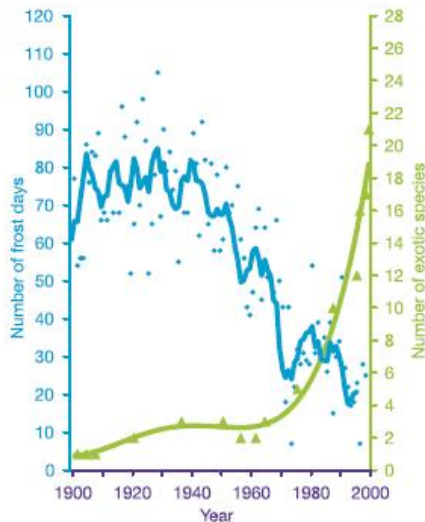


Figure 3 Vegetation shift from indigenous deciduous to exotic evergreen broad-leaved vegetation in southern Switzerland. The shrub layer is dominated by the growing number of spreading exotic evergreen broad-leaved species (see illustration) that



appear to profit from milder winter conditions, indicated here by the decreasing number of days with frost per year (the smoothed curve gives five year averages for the number of frost days per year)²⁹.

ドイツのワルサーさんは、様々な生態系の最近の変化について纏めています

例えば、春の渡り鳥の来訪の時期、鳥 (flycatcher) の孵化、植物の芽生えの時期が早まっています (左)

南スイスでは、外来の樹種が増えています



Walther *et al.* (2002): Ecological responses to recent climatic change, *NATURE*, 416, 389–395.

早い

春のイベント

分類群	地域	観察された変化	期間
多数の植物	ヨーロッパ 北アメリカ	開花、展葉が10年で1.4-3.1日程度早まっている	過去38~48年
18種の蝶類	UK	開花、展葉が10年で1.2-2.0日程度早まっている	過去35-63年
両生類	UK	10年で2.8-3.8日程度出現が早まっている	過去23年
野鳥	ヨーロッパ 北アメリカ	産卵が早まっている 渡りの時期が早まっている	過去25年 過去30-60年

緯度および高度方向へのシフト

種類	場所	観察された変化	気候変化との関連
森林限界	ヨーロッパ ニュージーランド	高標高帯への移動	気温の上昇
極圏の灌木植生	アラスカ	灌木の無かった場所 への灌木の拡大	気温の上昇
山岳植生 南極植生、軟体動物	ヨーロッパアルプス 南極	10年で1~4mの上昇 分布の変化	気温の上昇 液相水の利用 気温上昇
動物プランクトン 潮間帯の軟体動物 魚類	カリフォルニア沿岸 北大西洋	暖水域の種の増加	沿岸水温の上昇
39種の蝶	北アメリカ ヨーロッパ	過去27年間で200km の北方へのシフト	
ある種の蝶	西USA	20世紀間で上方へ 124m、北方へ92km	
低地の野鳥 12種の鳥類	コスタリカ イギリス	高山への分布の拡大 20年で18.9kmの 北方への移動	乾季の霧の頻度 冬の気温
キツネ	カナダ	赤キツネの北方拡大 極キツネの分布減少	気温の上昇



宇宙からはどんな変化が見えるだろうか

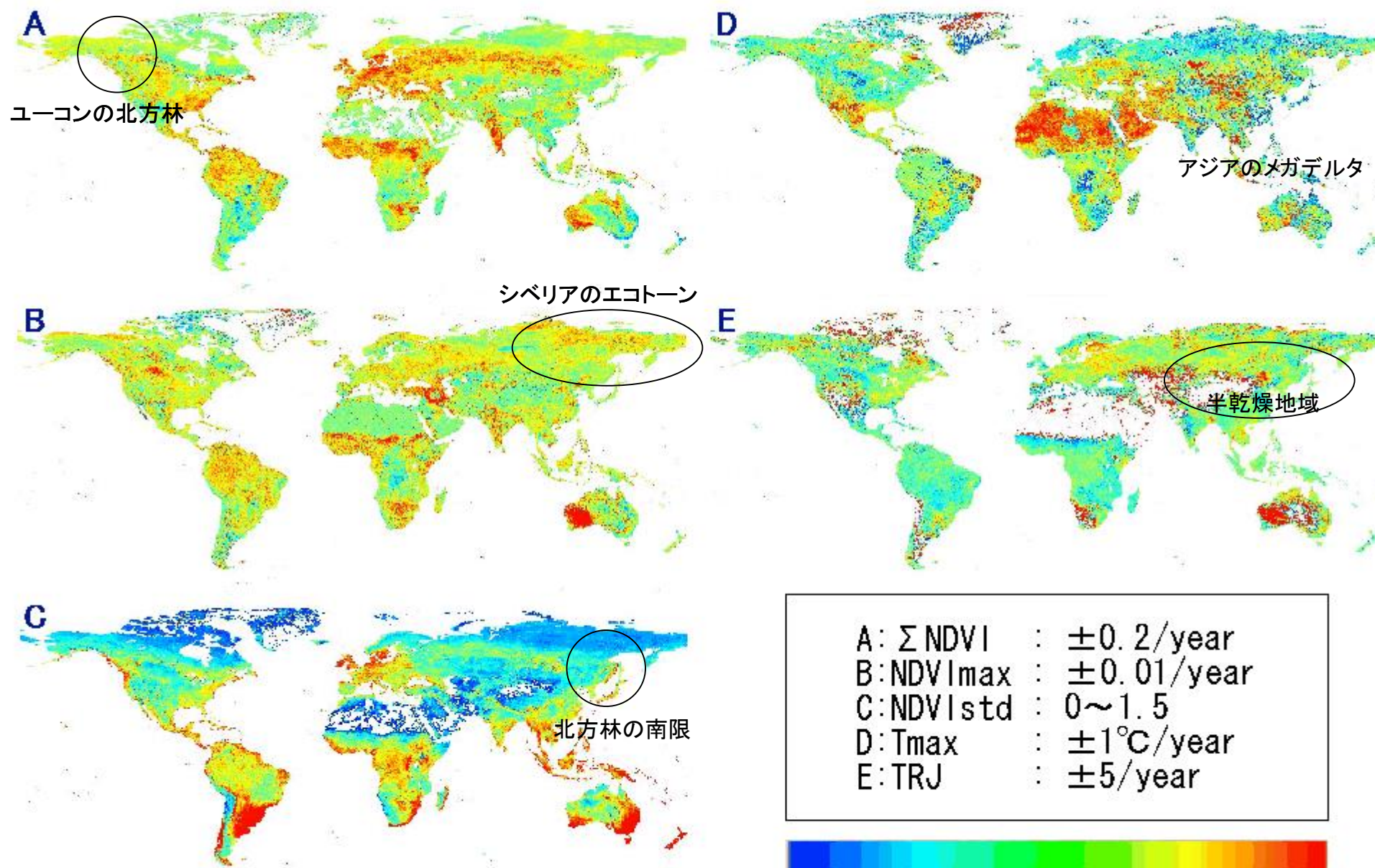


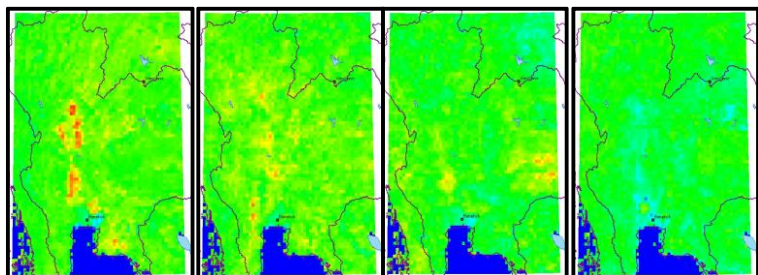
図1 1982年から2000年の間のパラメータのトレンド. A: 年間のNDVIの積算値(Σ NDVI), B: 年間の最大NDVI(NDVI_{max}), C: Σ NDVIの標準偏差(NDVI_{std}), D: 年間最大地表面温度(T_{max}), E: Ts-NDVI空間における年間の軌跡の傾き(TRJ).

完璧なデータでなくてもいい、変動のシグナルを先に発見することが重要

→ローカルな視点

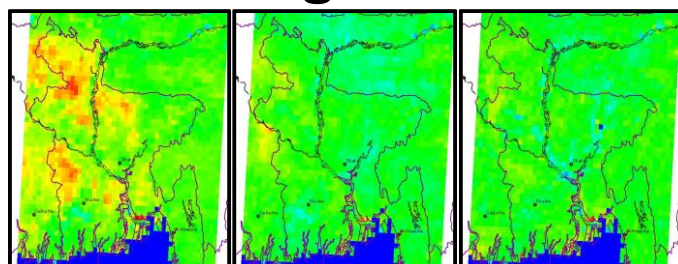
人間要因による植生変化－緑の革命による農事暦の変化

Chao Phraya



Dry Season (Jan.-Mar.) Dry Season (Apr.-Jun.) Rainy Season (Jul.-Sep.) Rainy Season (Oct.-Dec.)

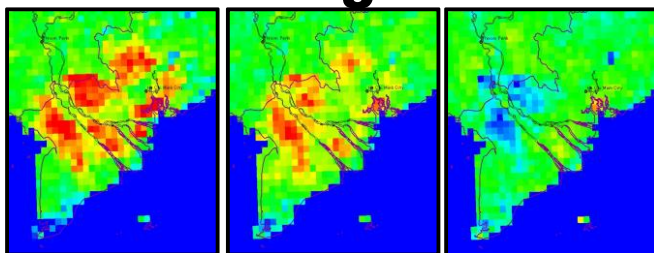
Bangladesh



Boro Dry Season Aus Pre-Monsoon Aman After Flood



Mekong Delta

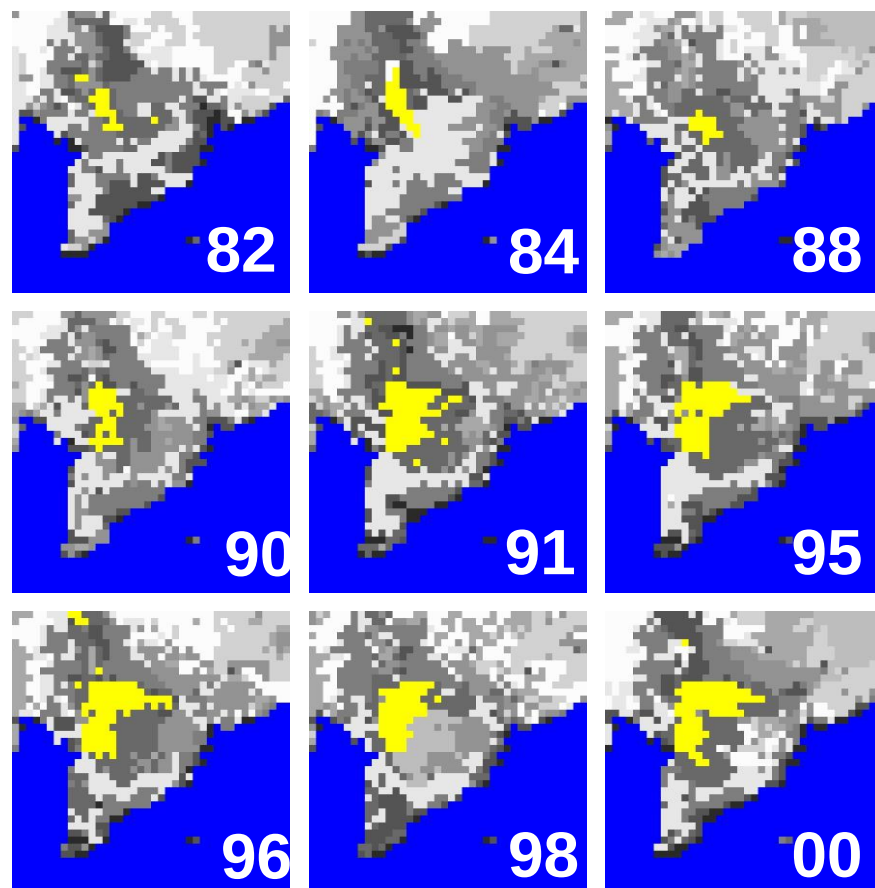


Dry Season Early Rainy Season Late Rainy Season

-0.2 +0.2

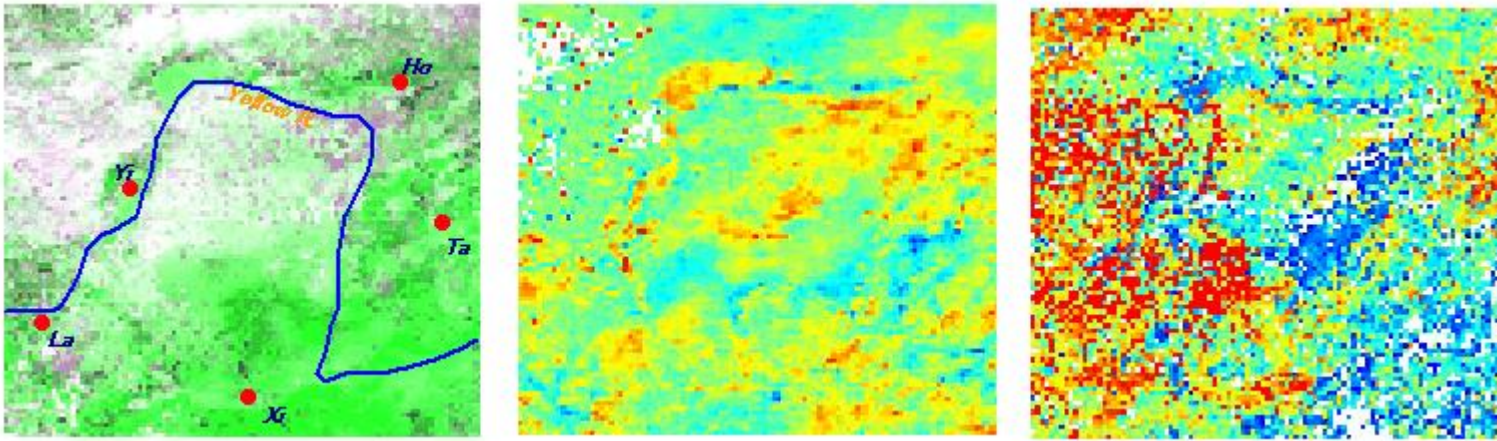
NDVI (植生指標) 年積算値の季節別変化傾向

- － 稲の乾期作の増加
- － 洪水に対する農学的適応
- － 緑の革命の功罪は？

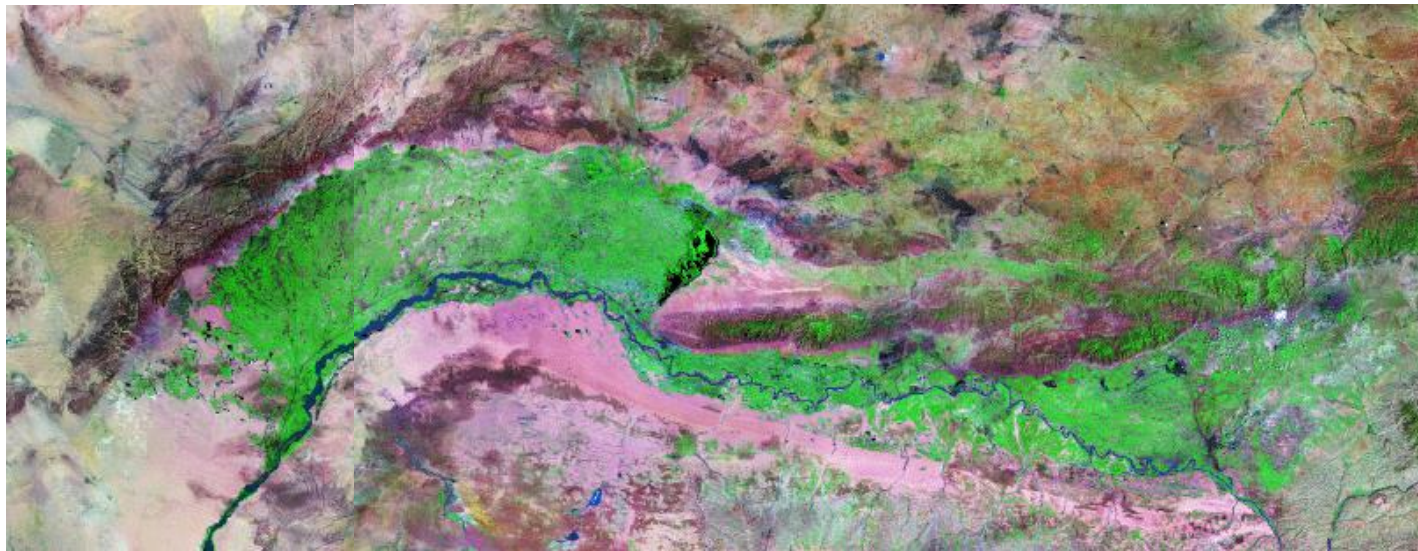


メコンデルタにおける乾季と雨季
初期の二期作地域の拡大

●黄河中流 ー人間要因の植生変動の例ー



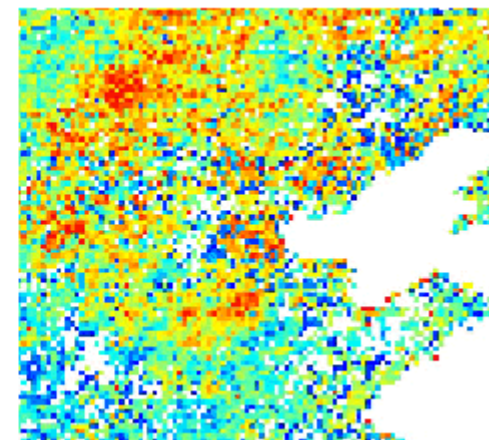
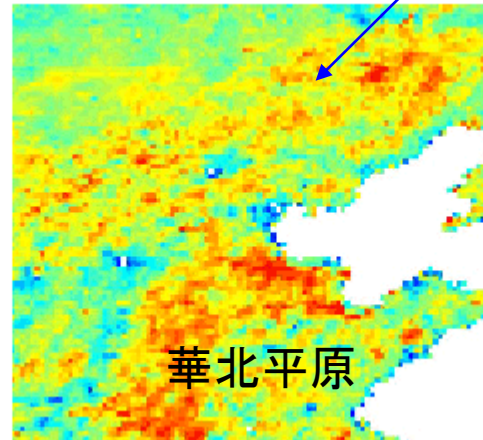
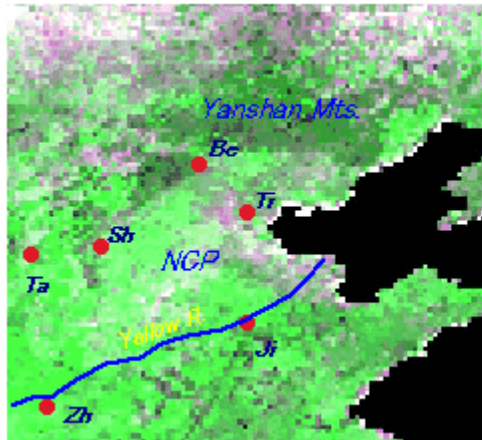
(左) フォールスカラー画像（青線が黄河の河道）、
(中) NDVIのトレンド、（右）最大地表面温度のトレンド



黄河中流には大灌漑区が存在し、食糧生産をのばしたが、黄河からの取水量の増大が「**黄河の断流**」の一因となった

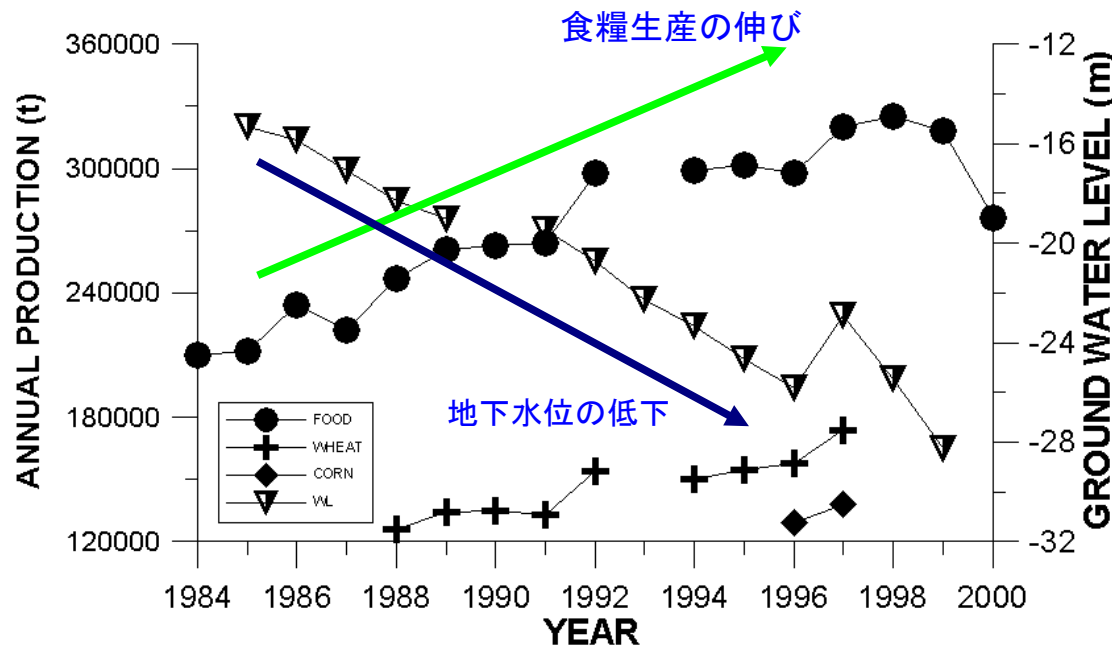
●華北平原

燕山



植生のシグナルが増加した地域があります。

(左) フォールスカラー画像 (青線が黄河の河道)、
(中) NDVIのトレンド、 (右) 最大地表面温度のトレンド

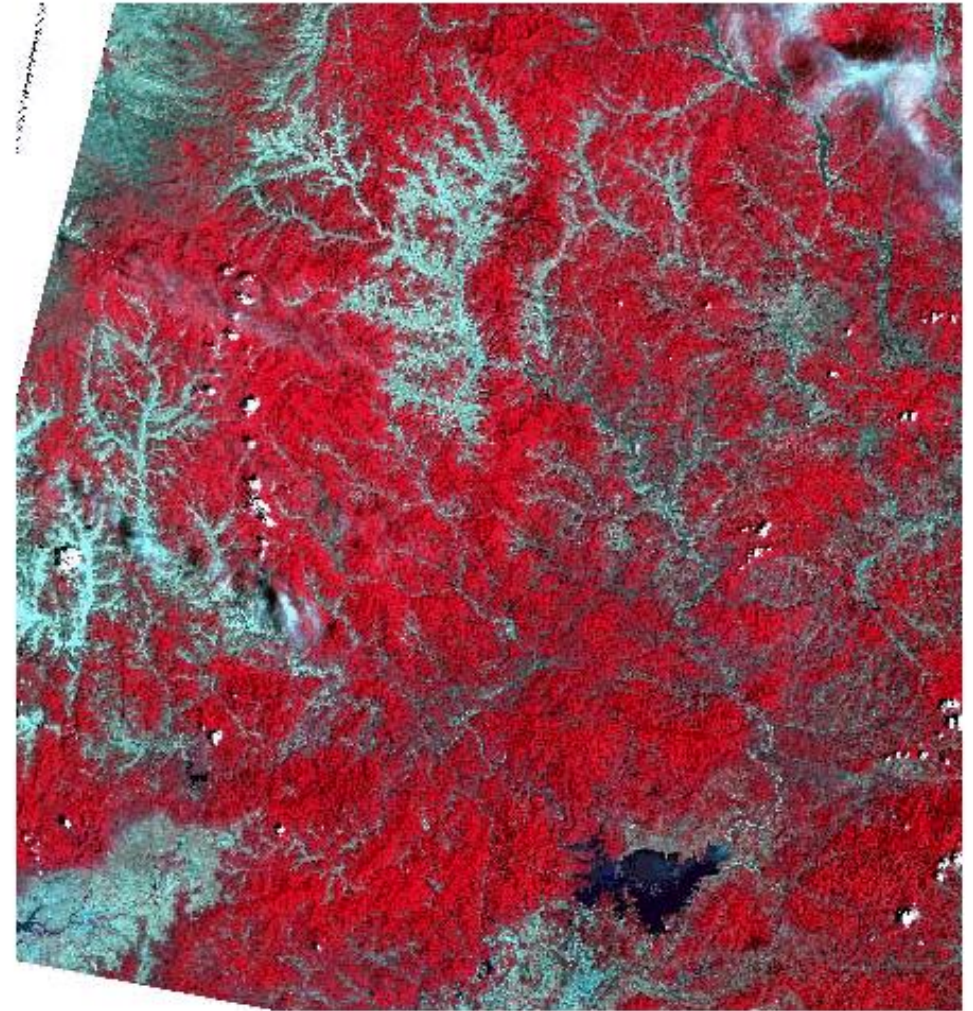
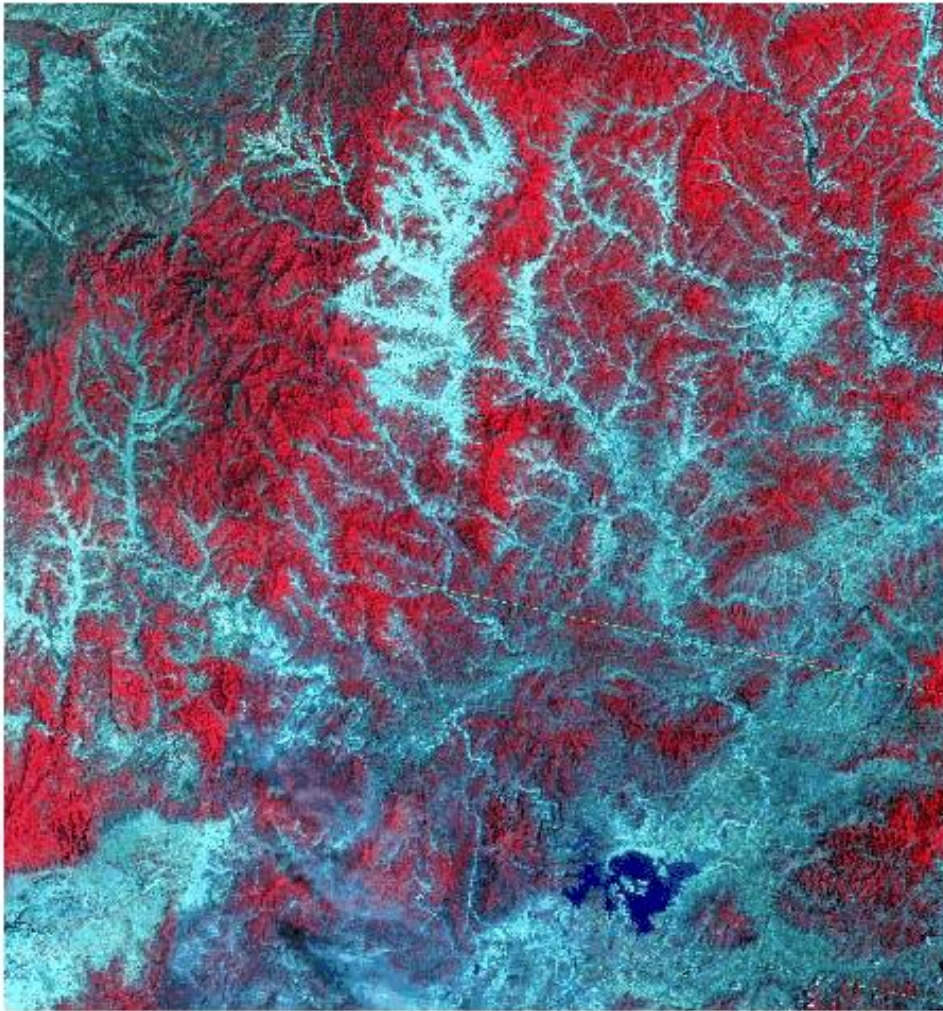


河北省省都石家庄近郊の樂城県における食糧生産量の地下水位の経年変化

中国華北平原では食糧生産量●は飛躍的に伸び、中国の人口増加を支えたが、灌漑用の地下水の水位▽は低下を続け、持続的な食糧生産の脅威となっている(レスター・ブラウン、1995)

密雲水庫流域の25年

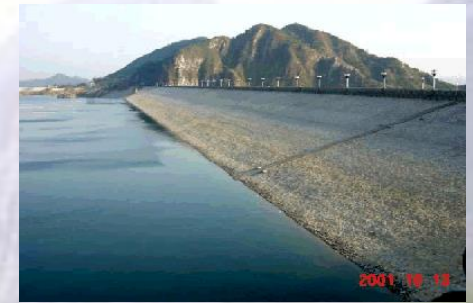
1975年6月 (LANDSAT MSS) と 1999年6月 (LANDSAT-7 ETM+)



森林は回復 Great Green Wall 新たな問題？

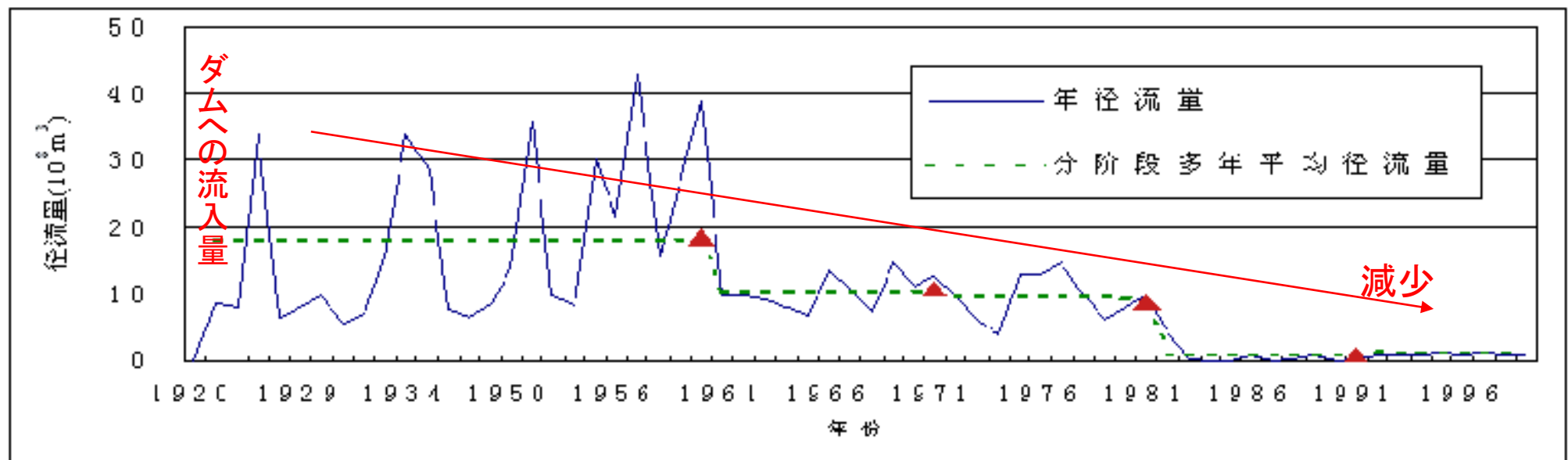
●燕山山地－北京の水源林－

密雲水庫への流入量減少
－流域の植生変動



●何が起きているか（仮説）

- ・退耕還林政策による植生の増加
- ・蒸発散量の増加
- ・流入量の減少

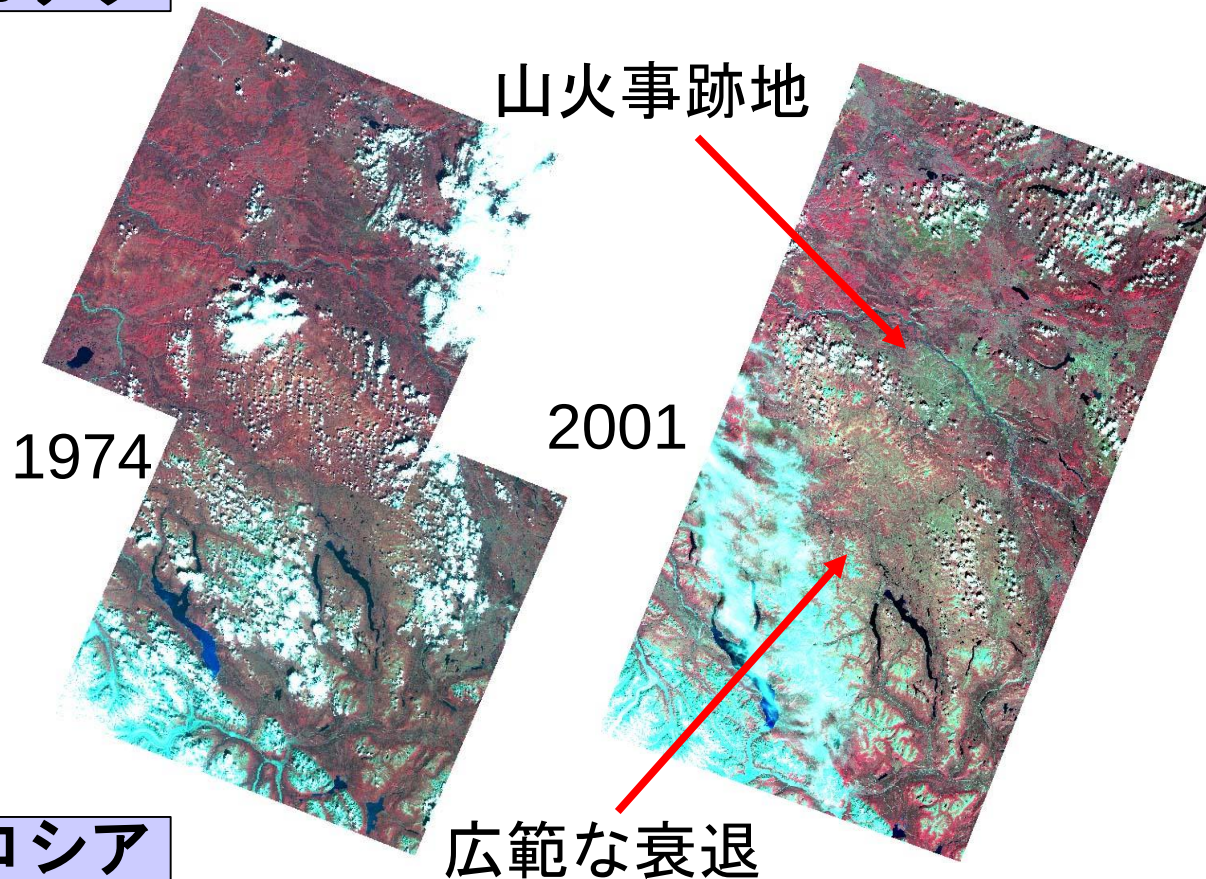


Five Periods of Annual Runoff in Chaobaihe River

衛星による地球観測が捉えた過去30年の変動

ー地球温暖化に伴う広域乾燥化ー

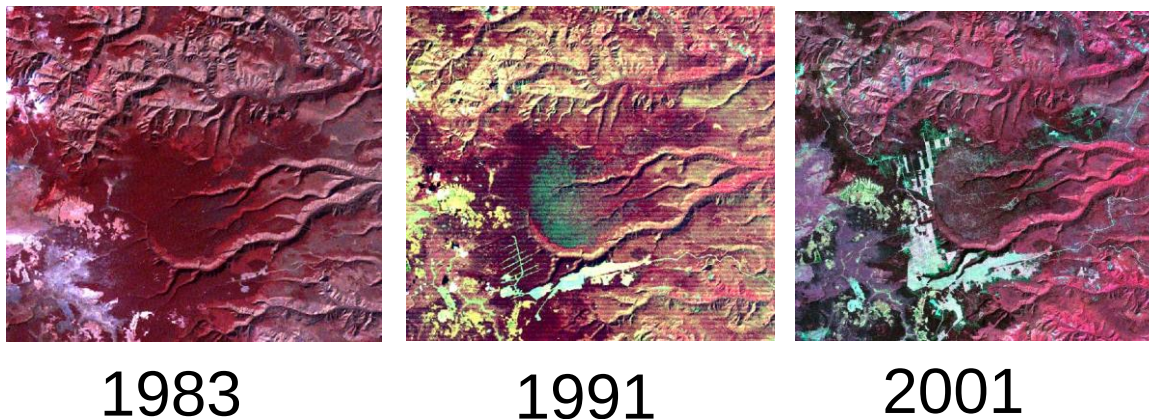
カナダ



カナダ・ユーコン準州
ボレアル林北限におけ
る植生変動
ー大規模山火事と植生
の衰退ー

地球温暖化の影響によ
る生態系の変遷はすで
に衛星データにシグナ
ルとして出現している
その場所を発見し、千
葉大学から発信！

ロシア



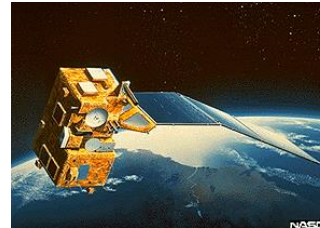
ロシア沿海州シホテア
リニ山脈ボレアル林南
限における植生変動
ー森林伐採と植生の衰
退（虫害？）ー

地域スケールの環境変動モニタリング

30年以上も観測を続けている その間に様々な変動が起こった



Courtesy of NASA



NASA

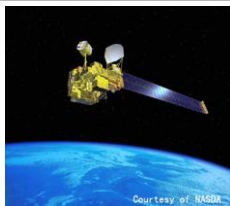


Courtesy of NASA

1972 ランドサット 1 号
1986 もも1号 (海洋観測)
1992 JERS-1 (資源観測)
1996 みどり1号 (地球環境観測)
2002 みどり2号 (地球環境観測)
2006 だいち (地図作成、災害観測)

まだまだ
たくさんある

1972 国連人間環境会議 (ストックホルム会議)
人間環境宣言
1992 リオデジャネイロ環境サミット
持続可能な開発のための行動計画
「アジェンダ21」
地球温暖化、生物多様性
2002 ヨハネスブルク環境サミット
持続可能な開発に関する世界サミット



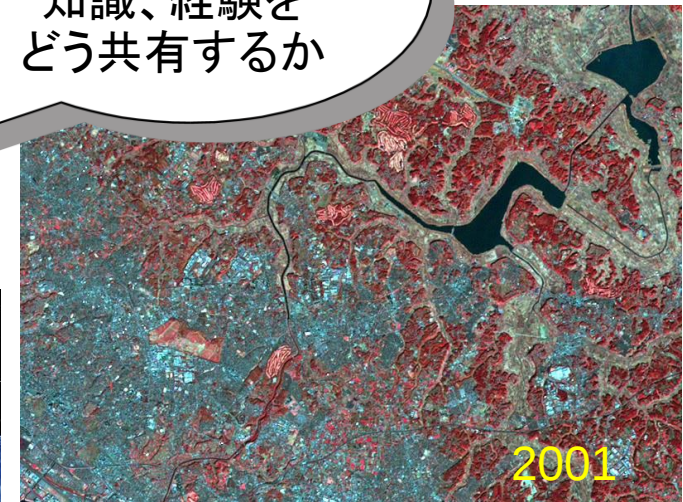
Courtesy of NASA



小さく、深い地域の
知識、経験を
どう共有するか



1972



2001



衛星画像は多くの方々に見ていただくことが重要 異分野協働による新しい知識生産（モード2）

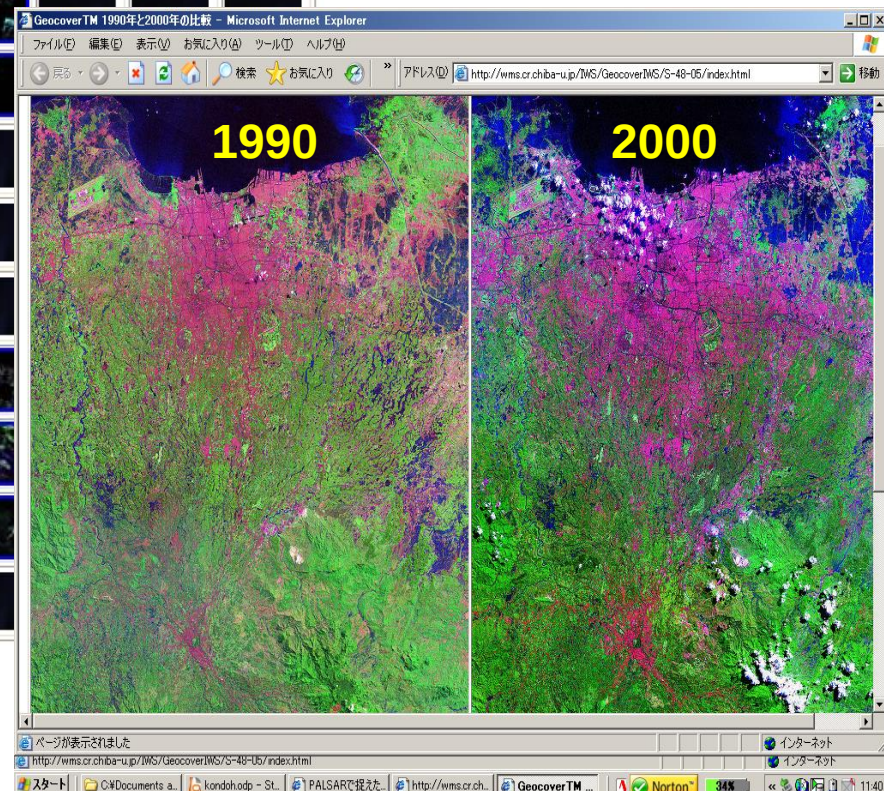
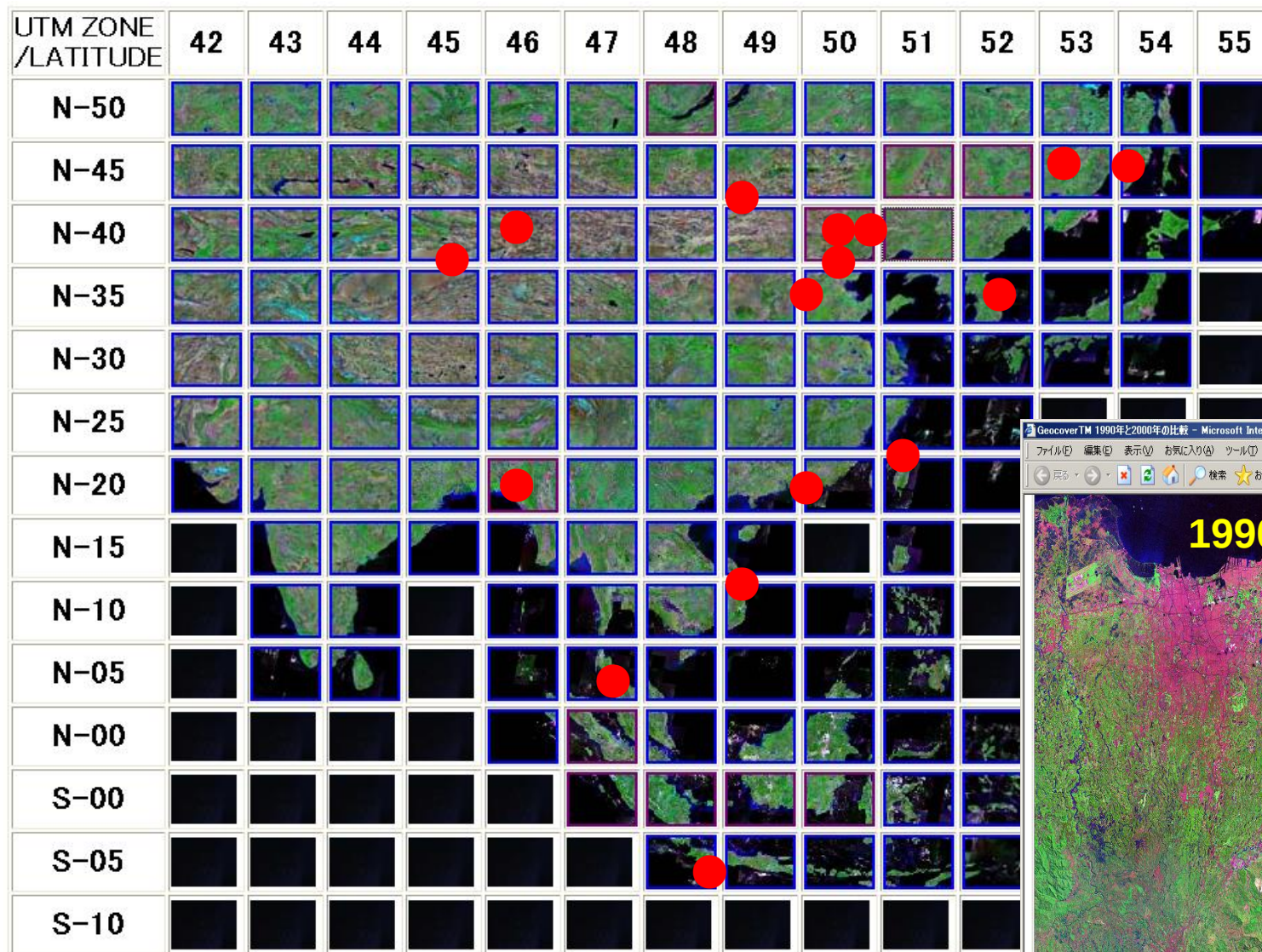
Collaboration between RS technique and field knowledge

個別の成果を
どう集積し、
統合するか



**NASA Geocover
TMモザイク**

1990年頃と、2000年頃
の幾何補正された
LANDSAT-TM画像



<http://dbx.cr.chiba-u.jp/>

<http://wms.cr.chiba-u.jp/IWS/GeocoverIWS/>

ジャカルタ／ボゴール地域の都市化と 洪水に対する脆弱性の増加

1990

2000

都市化と土地条件

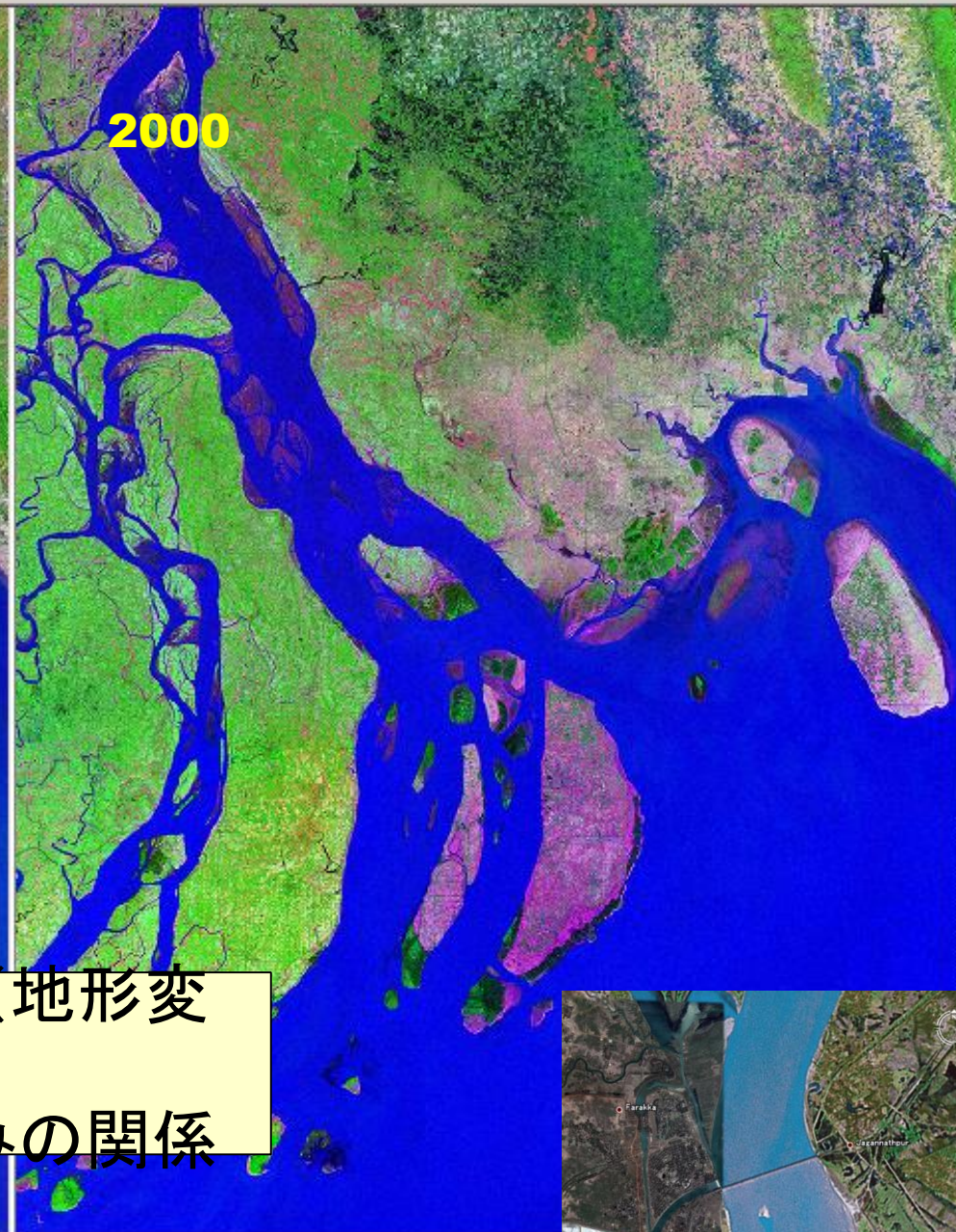
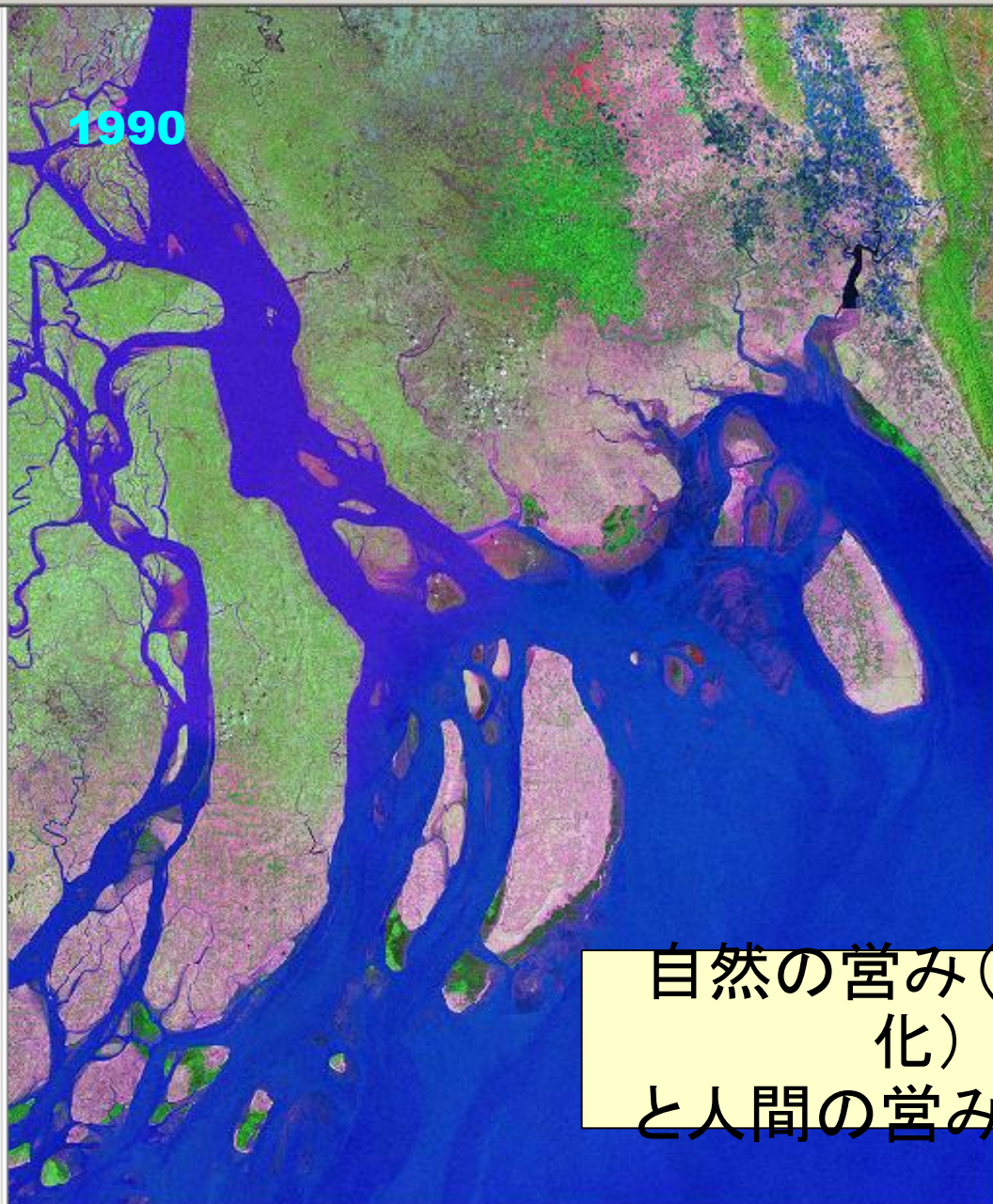


河道の変遷 ガンジス川とブラマプトラ川の合流点



自然の営み(地形変化)
と人間の営みの関係

ガンジス川河口における侵食と堆積

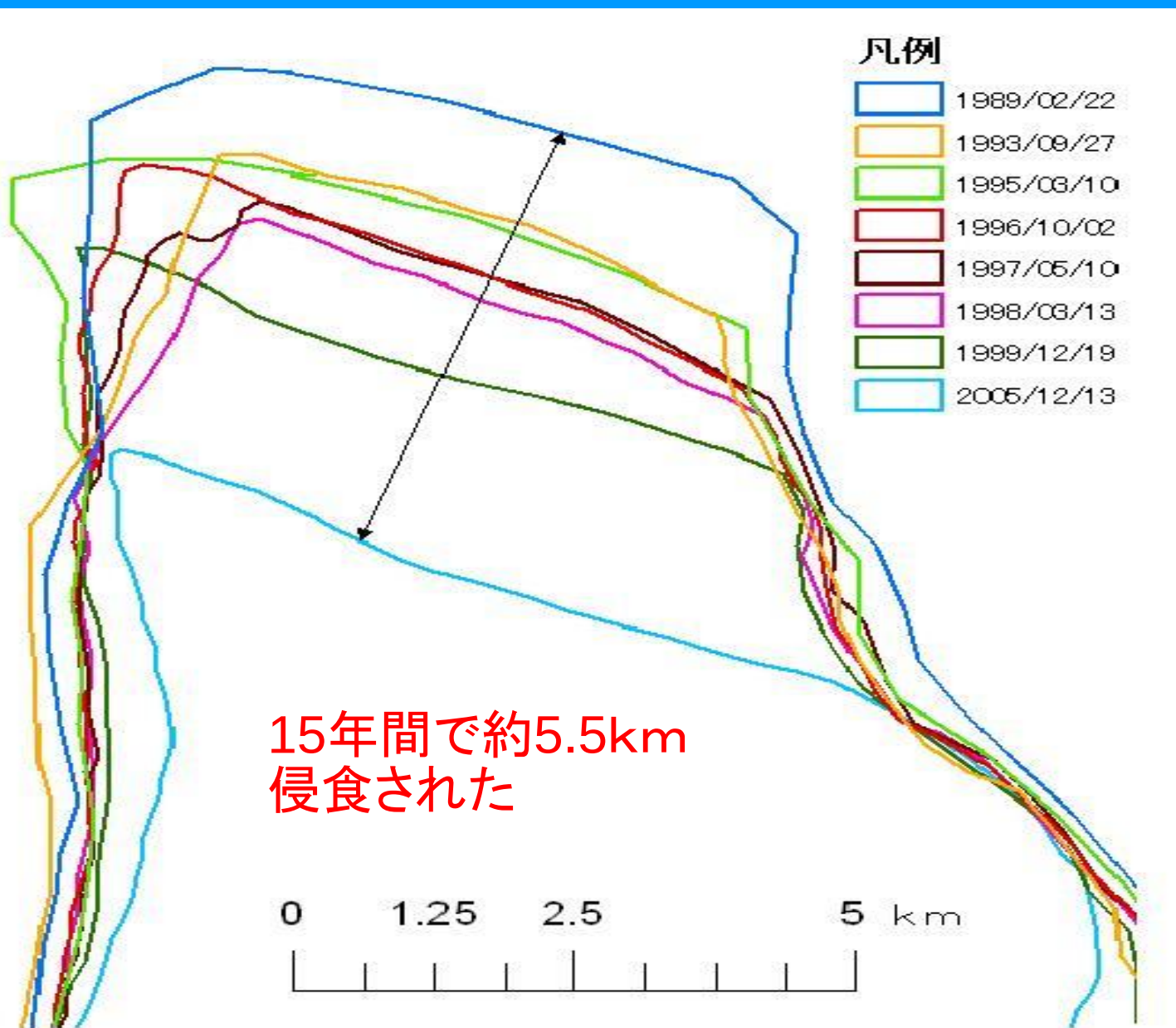


自然の営み(地形変化)
と人間の営みの関係



(Farakka dam, Google Earth)

ハティア島北部の変化

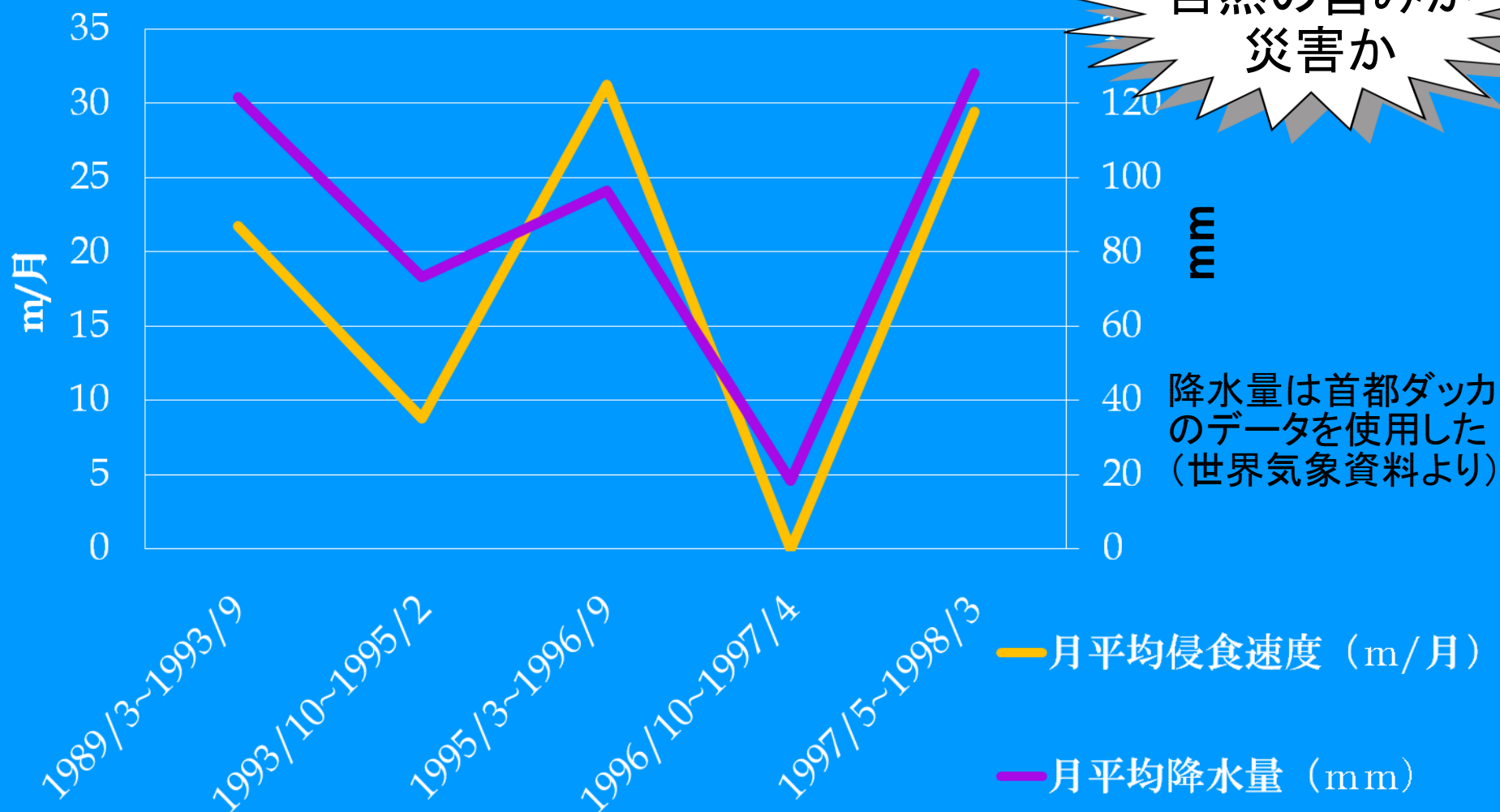


侵食の大きさが
期間によって違う



そこで、降水量と
侵食速度の対応
関係を検討した

侵食速度と降水量の比較



自然の必然的な変化と人の暮らしー地形変化と土地の喪失ー

必然

地域の特徴

- ・変動帯であるが故の大量の土砂生産
- ・世界最高レベルの降水量

何が問題なのか

土地の喪失ー河道の変遷、海岸侵食
洪水、高潮

何が本当の問題か？
地球温暖化は？

問題の
緊迫

真の問題

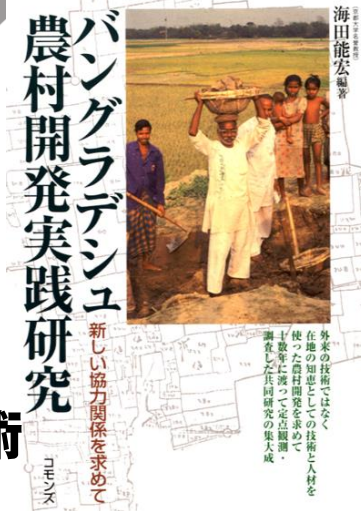
過大な人口
社会経済的な条件

対策は

工学的適応
環境適応
農学的適応
社会経済的適応



農村水文学
農民の持つ小技術
による適応



RIVERS
OF LIFE

Bangladeshi journalists
take a critical look at the
Flood Action Plan

PANOS/BCAS

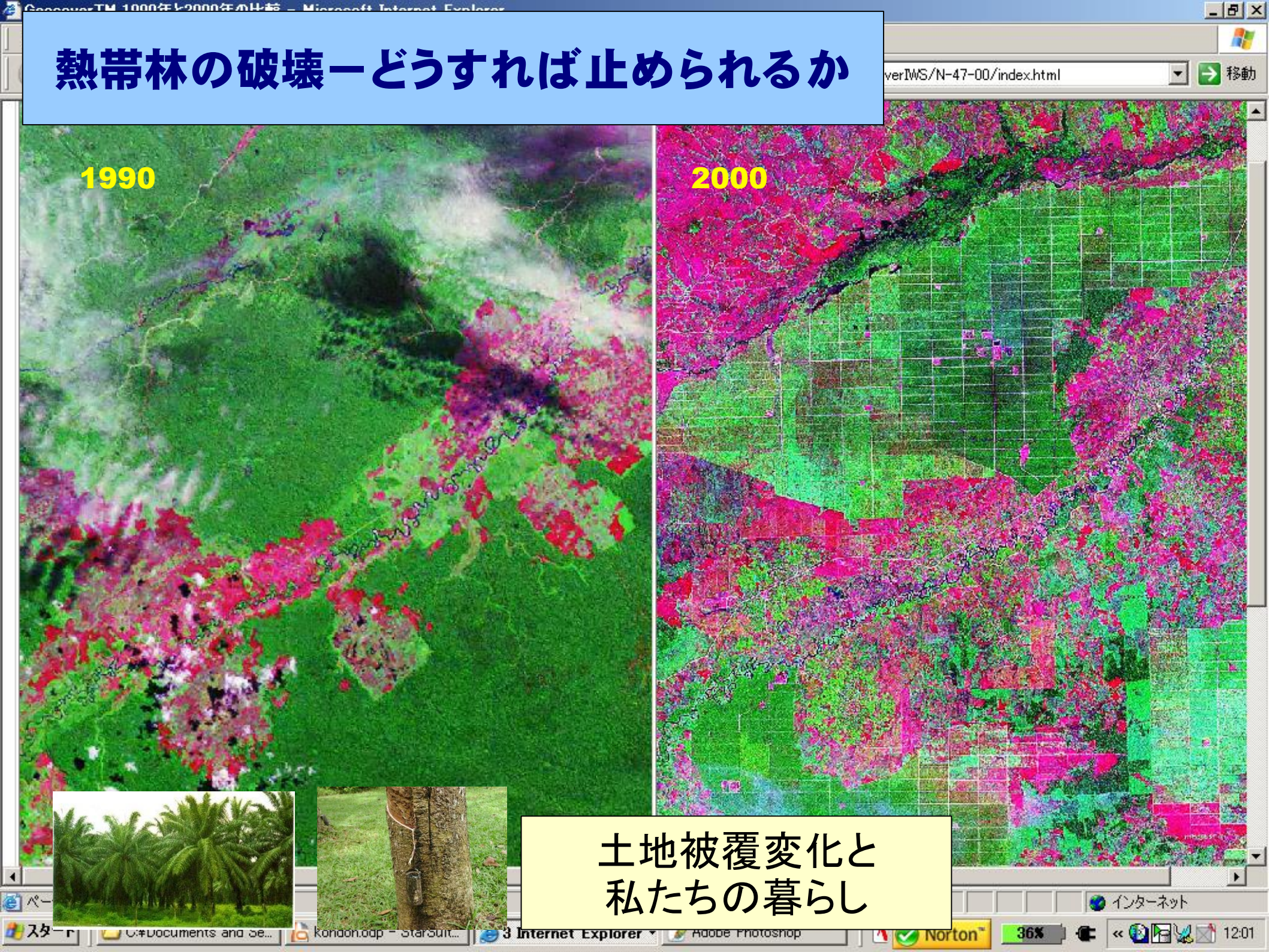
洪水は災害だろうか
河と共に生きる暮らし

熱帯林の破壊—どうすれば止められるか

1990

2000

土地被覆変化と
私たちの暮らし



なぜ、熱帯林のプランテーション化が進むのか

図3 中国とインドのヤシ油輸入量

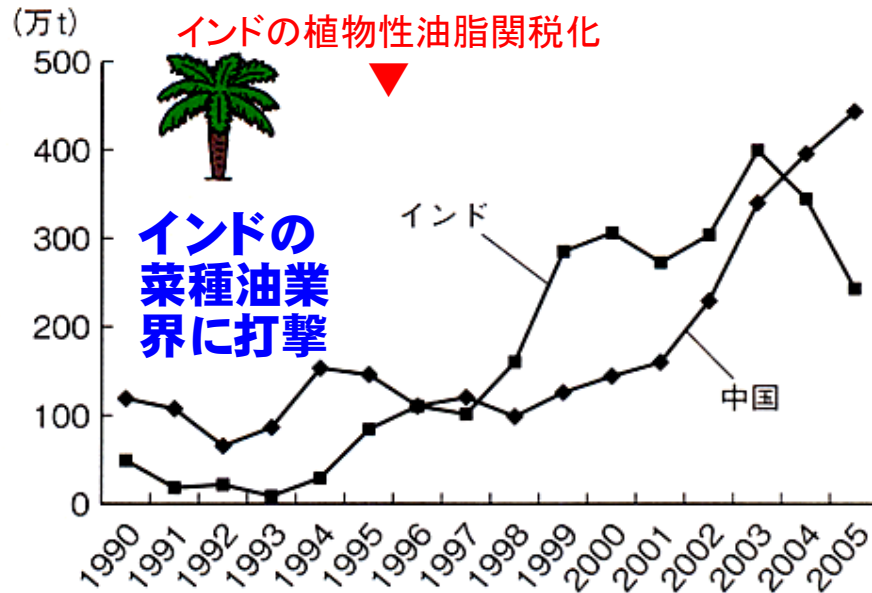


図1 ブラジルの大豆収穫面積

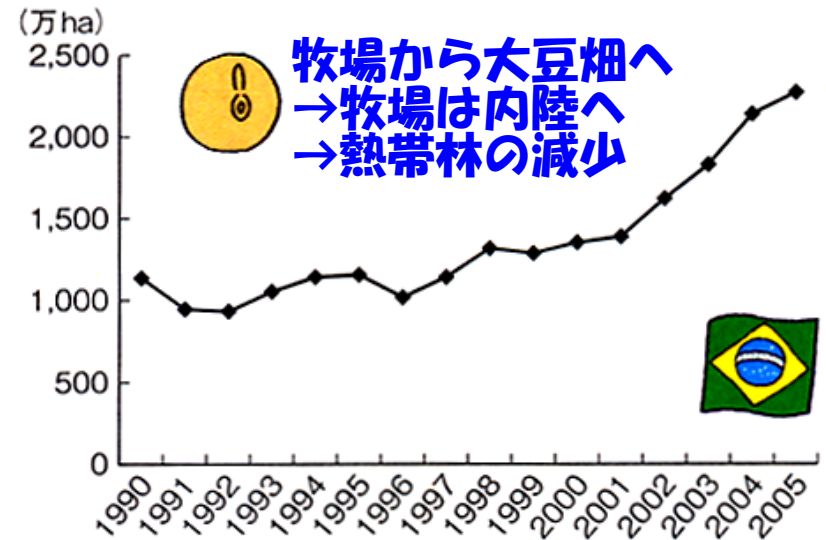
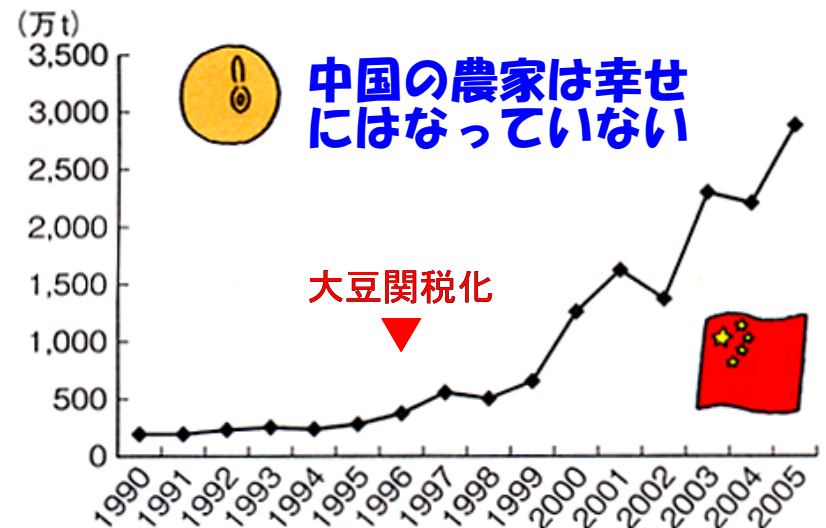


図2 中国の大豆輸入量



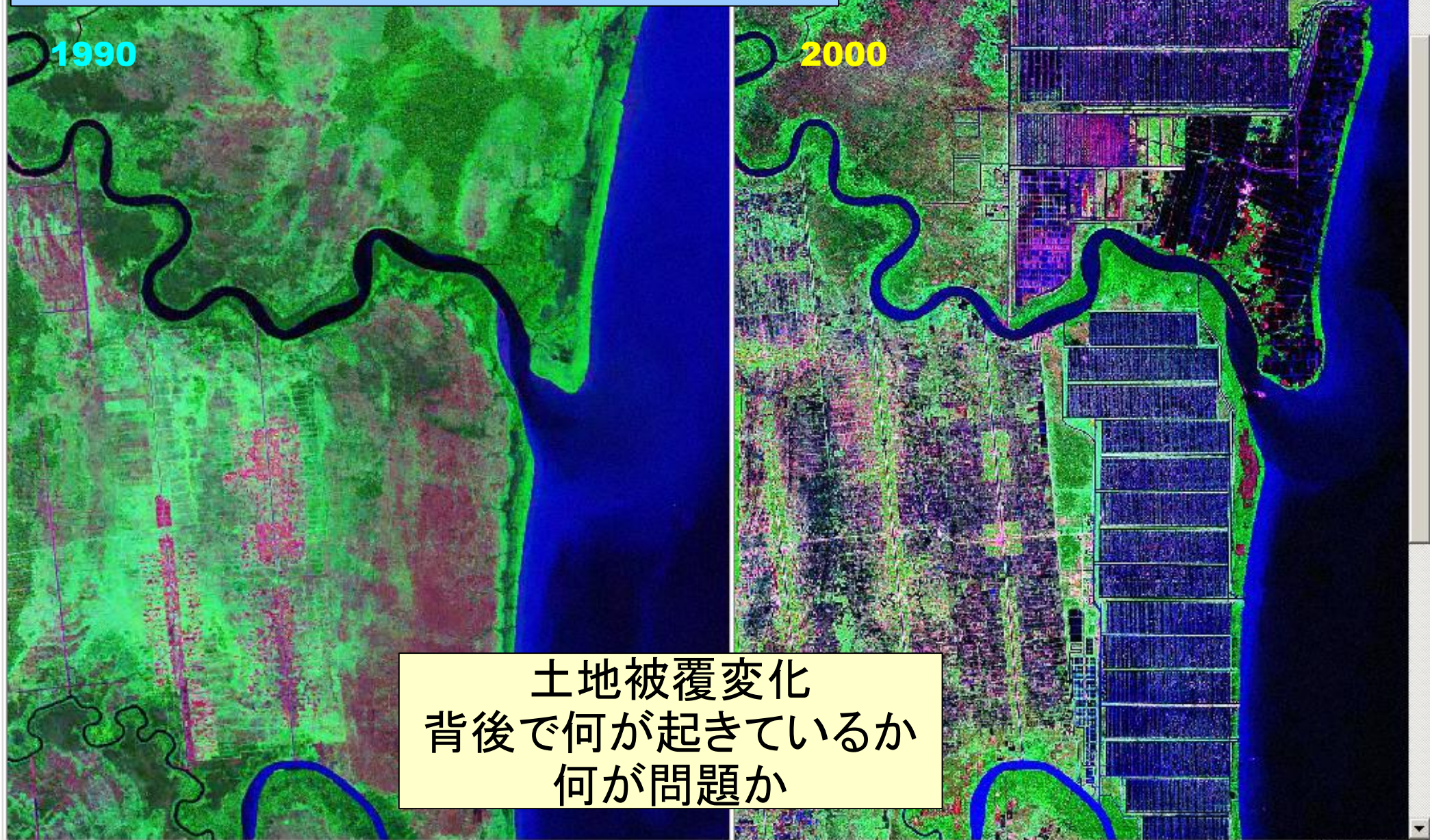
本文中出所

- 1) FAO. (2006). Global Forest Resources Assessment 2005. FAO Forestry Paper 147. Food and Agricultural Organization. Rome.
- 2) FAOSTAT. <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>

WTO合意と地球温暖化対策の矛盾
・実態認識のためのリモートセンシングの利用と、一貫した政策の提言が結びつかないだろうか！

(現代農業、2008年12月号、関論文より)

Shrimp Culture, Fish Culture - A Case in Eastern Smatra -



Irrawaddy Delta in circa 1990 and circa 2000

 NASA Geocover TM Mosaic Circa 1990(left) & Circa 2000(right)

1990

2000

2008年4月サイクロン“ナルギス”がミャンマー、イラワジ川の河口を襲った

Dry season rice crop is promoted by the introduction of water pump around early 1990s.

沖積低地における問題

イラワジデルタにおける土地利用変化

1990年初頭に中国から輸入した動力ポンプが普及したことにより、稲の乾期作が増加
デルタの暮らしへの適応は？



対策－適応（Adaptation）

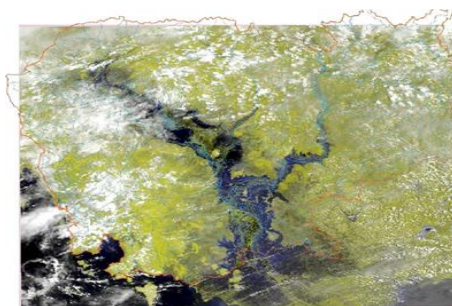
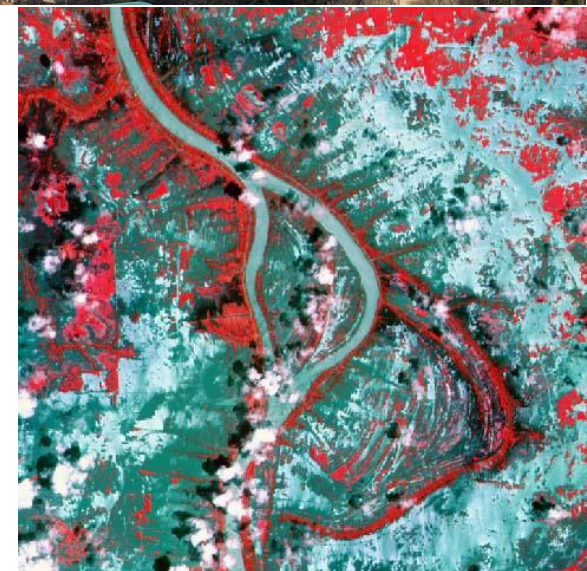
工学的適応

日本の沿岸沿いの大都市

農学的適応

カンボジア、ベトナム、．．．

環境適応



工学的適応の失敗

ハリケーンカトリーナ



ハリケーンカトリナは何を教えたか

姿を変えたジャズの都

ニューオーリンズはほぼ全域が海面下にある。メキシコ湾岸に漂したときよりハリケーンの勢力は弱いが、堤防の決壊で街は8割がた浸水した

AP/Photo

Special Report

ハリケーン

米南部に襲いかかった
史上最大級の自然の脅威
数々の現地報告から
被害拡大の元凶を検証する

ジャズとカーニバルの都ニューオーリンズから陽気な調べは消えた。市内の8割が水没するという前代未聞の悲劇は天災かそれとも人災か。行政の対応が後手に回るなか、住民は濁流と無法地帯の恐怖に怯え、経済的被害も拡大した悪夢の1週間をドキュメントする

決して突然の、予想外の事態ではなかった。

「これじゃ、もたんど」。ニューオーリンズ市議会のオリバー・トーマス議長がそうつぶやいたのは、

8月26日の午後4時、すでにポンチャートレイン湖の水位は上がり、押し寄せる波がコンクリート堤防の下の手をきくづいていた。

「ナ」がニューオーリンズを襲ったのはその14時間後だが、すでに海では潮位の上昇が始まっていた。トーマスは市のハリケーン対策室に戻り、みんなに言った。「今、水が市内に押し寄せてくる」。

30日の早朝、執務室のソファで仮眠していたトーマスは、ドアをたたく音と遠くかの叫び声で目を覚ました。「堤防が決壊した」。起き上がる、オフィスのじゅうたんは水浸しになっていた。

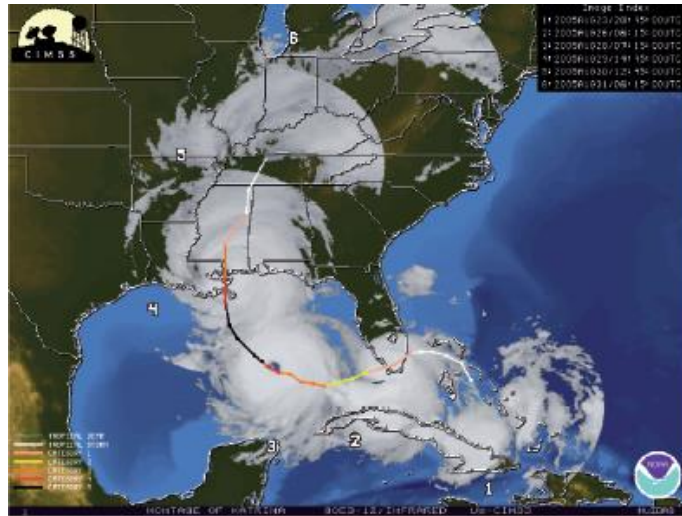
地元で生まれ育ったトーマスは、40年前の洪水で自宅の屋根に取り残された記憶がある。議員になってからも、水害対策に熱心に取り組んできた。だから洪水関係の報告書が山積みされているのも知っていた。そして、愛する街を持つ運命にも気づいていた。

カトリナがメキシコ湾岸に上陸した29日の朝、夜更け前隊の第

The Last City

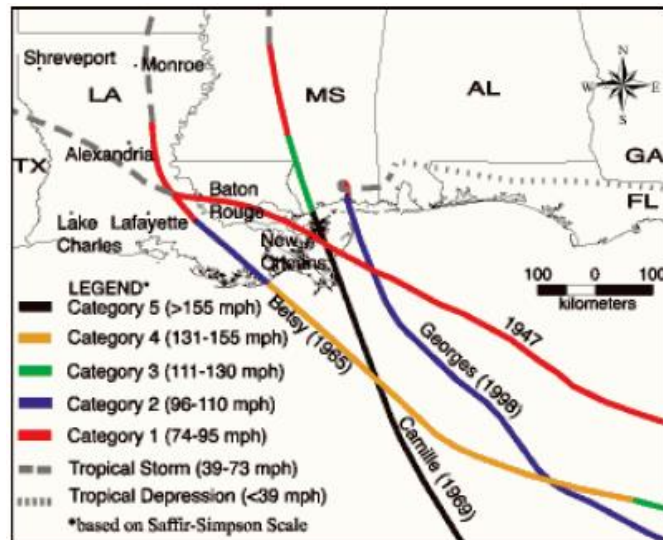
そして街は水に沈んだ

ハリケーンカトリーナは未曾有のハリケーンだったか



	カトリーナ	伊勢湾台風
上陸日	2005年8月25日	1959年9月26日
最低気圧	902hPa	894hPa
上陸時気圧	920hPa	929hPa
最大風速	77m/s	75m/s
上陸時風速	62m/s	45m/s
暴風域半径	180km	350km

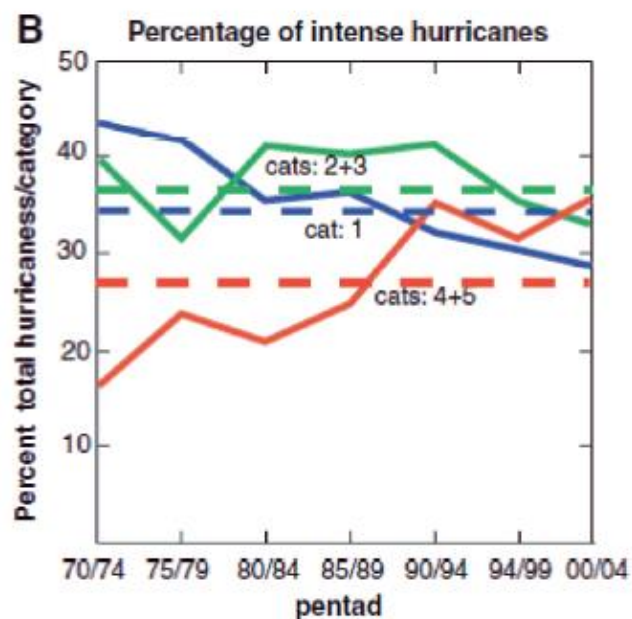
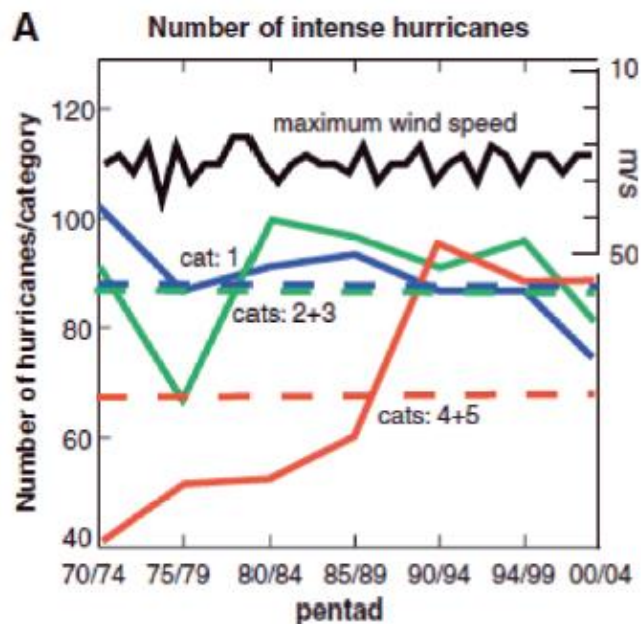
カトリーナは最大時カテゴリー5、上陸時にカテゴリー3



ハリケーンカトリーナの進路(上)と過去の主なハリケーン(下)



木曽川上空より弥富駅方向。下記URLより転載
<http://www.d1.dion.ne.jp/~kwx/isewan.htm>



(大楽・水谷・佐藤、2006 ;
Webster et al., 2005)

強烈なハリケーンは増えているのか？

90年代半ばまで、カテゴリー4+5のハリケーンの数、割合は増えているが、最大風速は変わっていない

(IPCCでは傾向は認められているとして)

なぜ、未曾有の災害になったか？

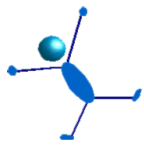
- 堤防が決壊したこと
ただし、堤防はカテゴリー3が基準
- 続いて、ハリケーンリタが襲来

ルイジアナ州とミシシッピ州
ー3つのEventがニューオリンズを襲ったー

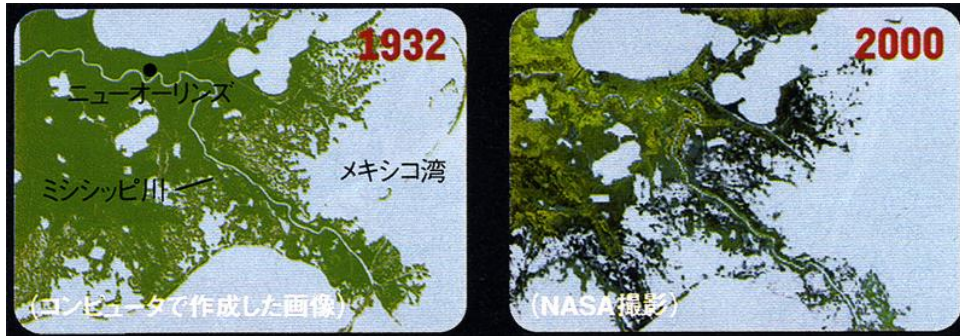
8/23	8/25	8/28	8/29朝	8/29午後	9/18	9/21~22	9/24
発生	FLに上陸	カテゴリー5	再上陸 (LA, MI)	堤防の決壊を認識	発生	避難	上陸
ルイジアナ州				 想定外 Levee Breach	Hurricane Rita		
ミシシッピ州							
Hurricane Katrina					(牧・林、		

(牧・林、2006)

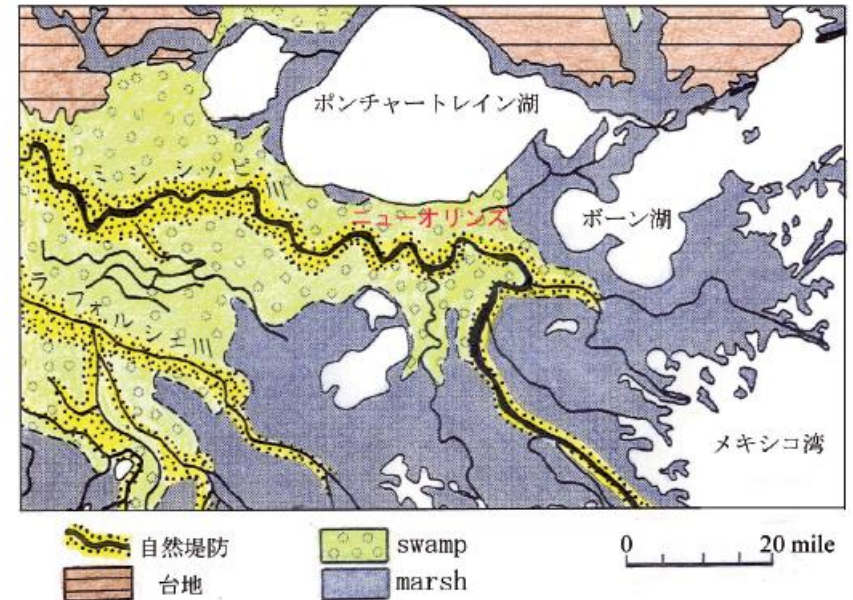




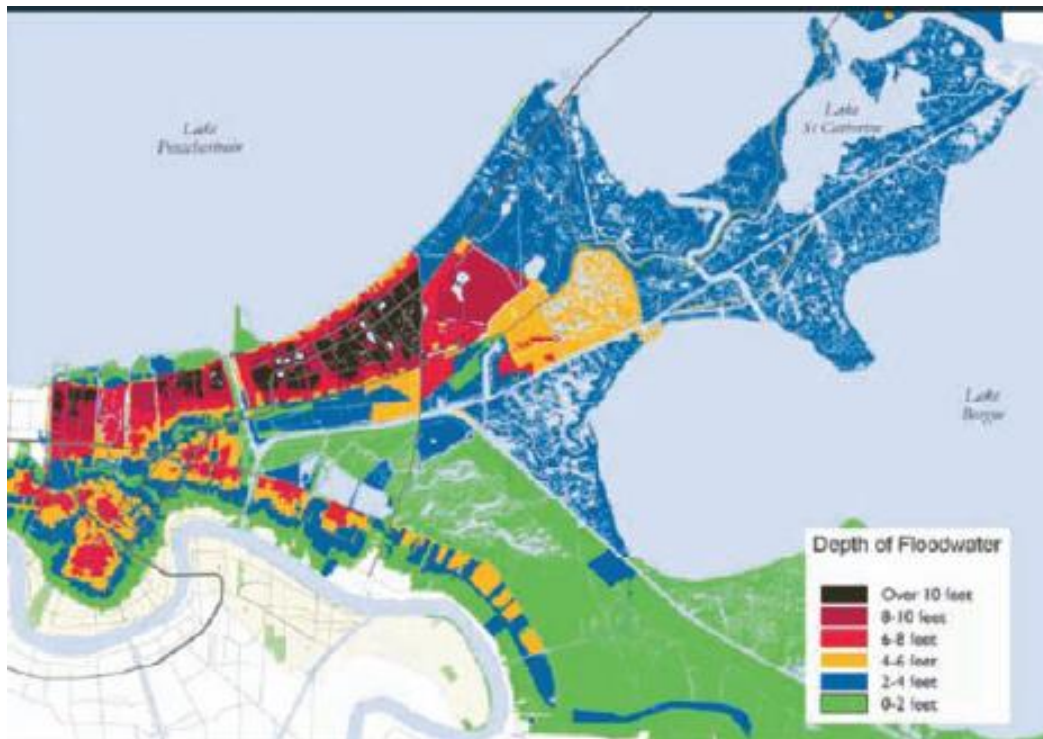
ニューオーリンズは三角州（デルタ）の上に発達した都市 土地の性質を知らなかった．．．



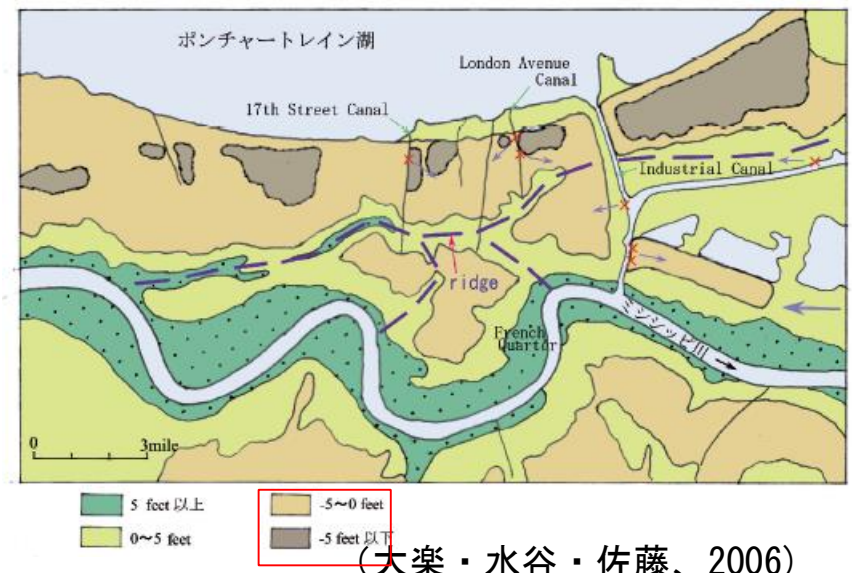
(ニューズウィーク日本版 2005. 9. 14)



ミシシッピデルタの地形分類(上)と、地盤
高分布(下) (水谷武司原図)



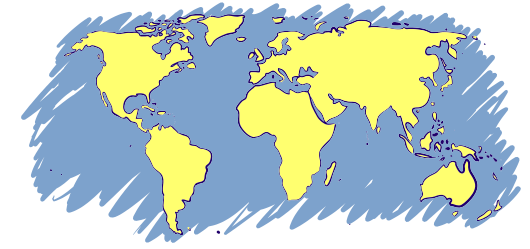
浸水深の分布(牧・林、2006)



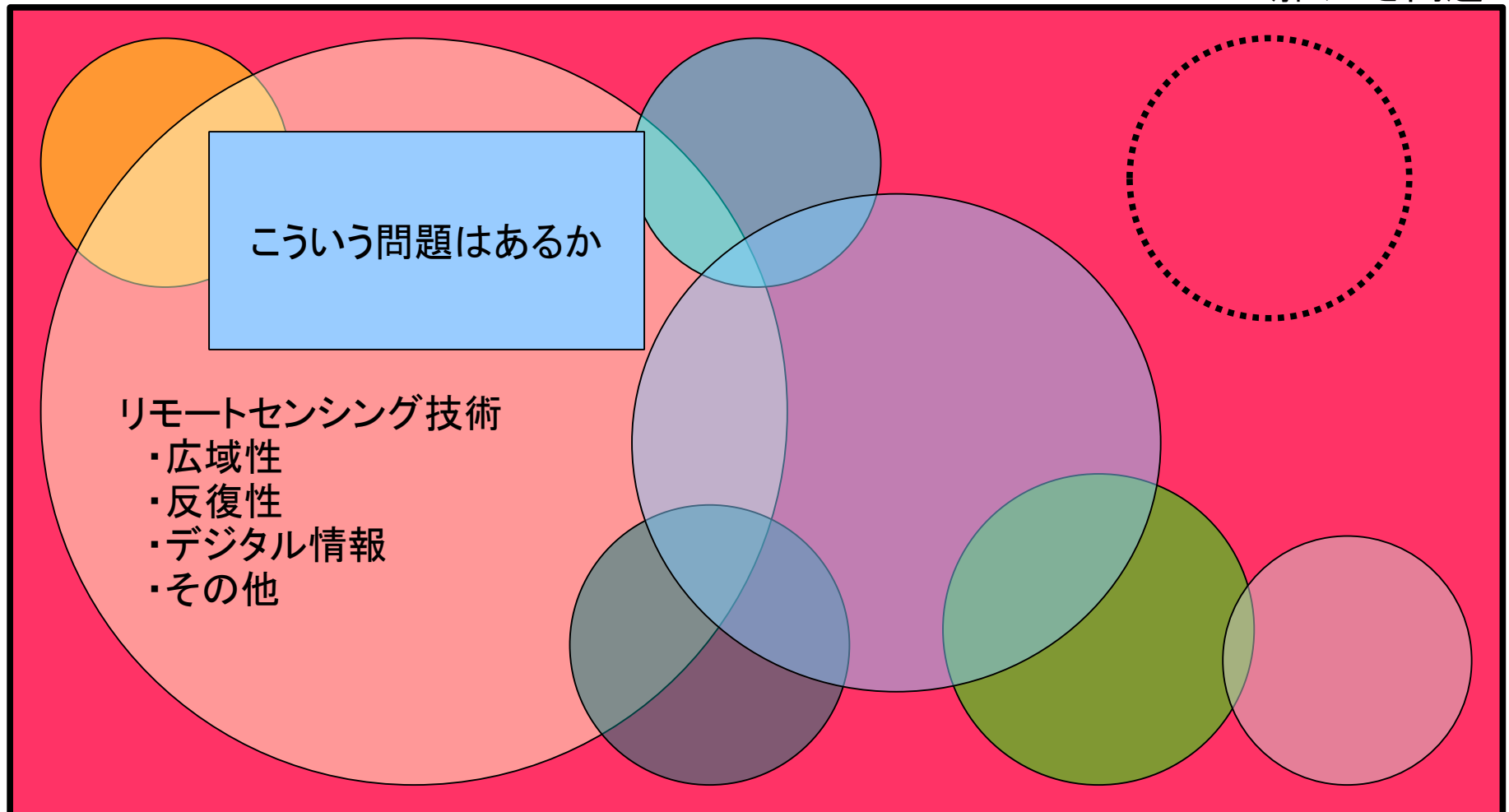
(大楽・水谷・佐藤、2006)

問題解決におけるリモートセンシング技術の役割

ー 単独解決か異分野協働か ー



解くべき問題



衛星環境変動学を目指して

- 過去30年以上にわたる地球環境観測成果の蓄積
- 抽出された変動には自然要因と人間要因
- 地球スケールの変動でも、問題は地域における人と自然の関係に関する問題として現れる
- 地域における問題の理解に基づき、解決を共有する必要がある
- 衛星データにより地域における環境変動を発見、理解し、空間的フレームの中に位置づけていく
- これが衛星環境変動学
- 解決は協働で

