生物多様性の
リモートセンシング

石井励一郎

RIGC/JAMSTEC
J-BON・AP-BON リモートセンシング分科会

生物多様性がなぜ重要か

生物多様性の損失と生態系サービス

A供給サービス
・コメ・野菜〈農地生態系〉
・スギ・ヒノキの建材〈森林生態系〉

B調整サービス
・干潟の浄化能〈沿岸・海洋生態系〉
・花粉媒介〈農地生態系〉

C文化的サービス
・地方ごとに特色ある祭り・食文化
・観光・レクリエーション

D基盤サービス　・土壌形成、光合成、水循環など

サンゴ礁における生物多様性の損失

異常高水温等による白化、サンゴ食生物の異常発生、陸域からの土壌流入

↓

サンゴ礁の生態系サービスの低下

観光・レクリエーション（ダイビング・シュノーケリング等）、商業用海産物、自然の防波堤

（中静透氏より提供）

生物多様性の損失と生態系サービス

■生態系サービスと生物多様性のトレードオフ

供給サービスを大量に効率的に供給
（高度経済成長期）
・森林生態系（建材）
・農地生態系（食料）

⇔

生物多様性の損失
・森林の転換
・農薬等の大量使用

■生態系サービスの海外依存

大量の生物資源を国外から輸入（高度経済成長期以降）
・木材、食料、エネルギー

⇔

国内の生態系サービスの利用減退
・国内の第2の危機
・国外の生物多様性への影響

（中静透氏より提供）

GEO: GROUP ON EARTH OBSERVATION

THE CONTEXT OF GEO BON

GEO-Biodiversity Observation Network

2006: User Needs workshop, Geneva 23-25 October

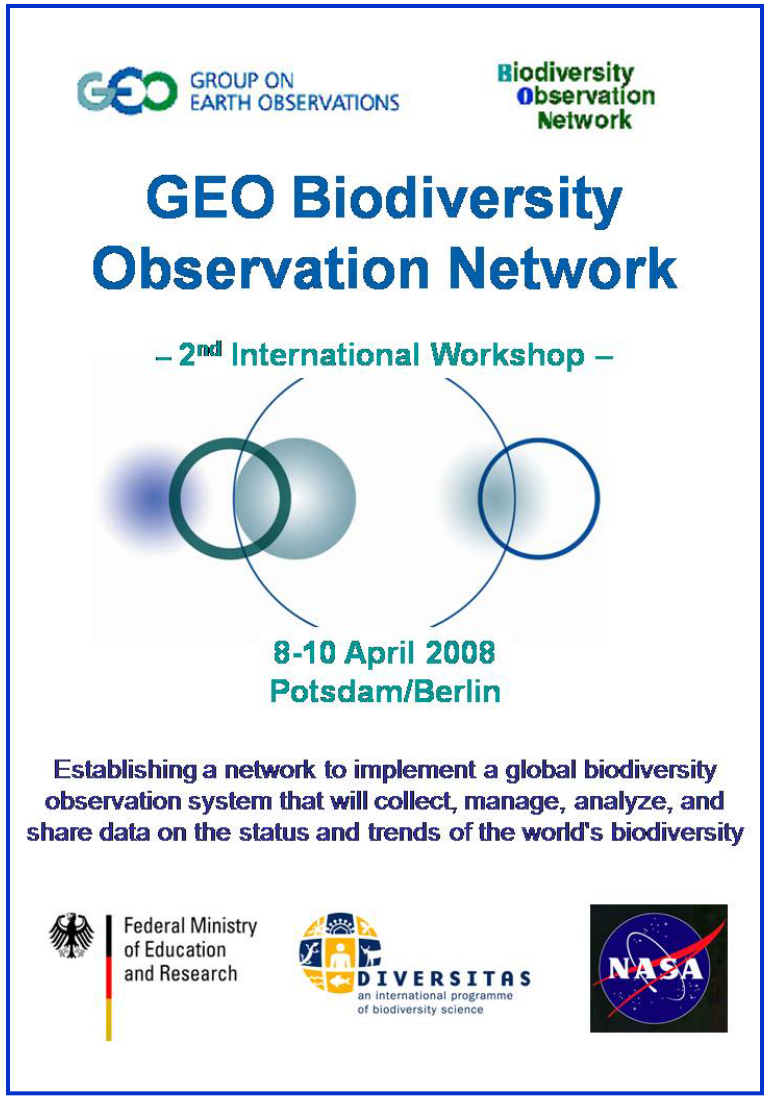
2007: GEO Ministerial in Cape Town

2008: Interim GEO BON Committee formed 14-16 January

- **Draft GEO BON concept document produced**

2008: 2nd International workshop, Berlin/Potsdam 8-10 April

- **Draft GEO BON concept document discussed and amended, first implementation steps planned**



DEVELOPMENT OF GEO BON & AP BON

Asia-Pacific Biodiversity Observation Network

2008	GEO BON Conference		2nd GEOSS-AP
2009		1st AP BON	3rd GEOSS-AP
		2nd AP BON	
2010	GEO BON Meeting	3rd AP BON	4th GEOSS-AP
2011			
2012			

実行計画の策定

2011 ～ 2015 の生物多様性観測実行計画を当に現在検討中

（矢原徹一氏より提供）

AP-BONではアジア太平洋域の生物多様性について以下の目標をもつ

4th GEOSS-AP SYMPOSIUM (10-12 MARCH 2010)

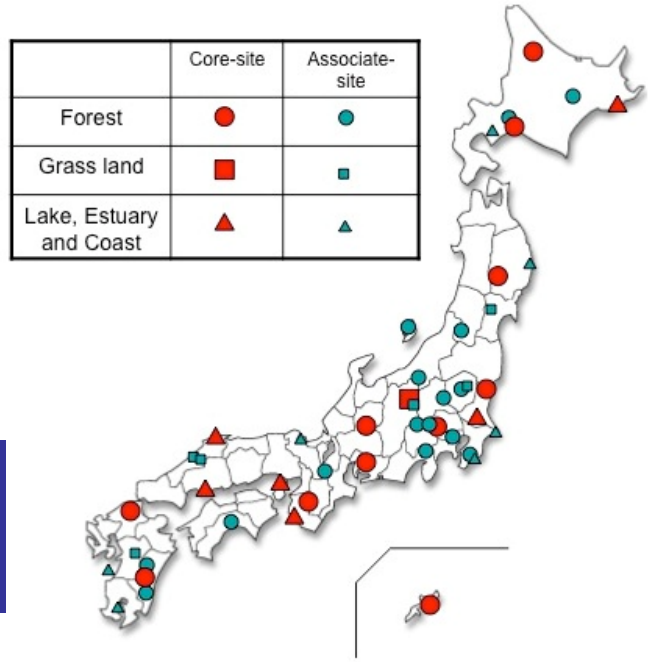
- 目的
  - **生物多様性の変化のモニタリング**
  - 持続的な管理法の確立
- 生物多様性COP10への貢献
  - 生物多様性の現況の報告
- 永続的な観測体制のネットワーク化
  - 8 ワーキンググループ
    （その1つ WG7が衛星観測・地上検証）
  - 生物多様性と生態系機能のマッピング
  - コアサイト・スーパーサイト網の構築
    （生物・水/炭素循環を同時に観測する）

生態系に関連するモニタリングのネットワーク

- 炭素/水循環のネットワーク
  JapanFlux<AsiaFlux<FluxNet

- 生態系の構造/生物多様性のモニタリング
  ネットワーク:
  JaLTER（＜ILTER）

これらを充実させて、衛星観測の地上検証データとして用いることを画策

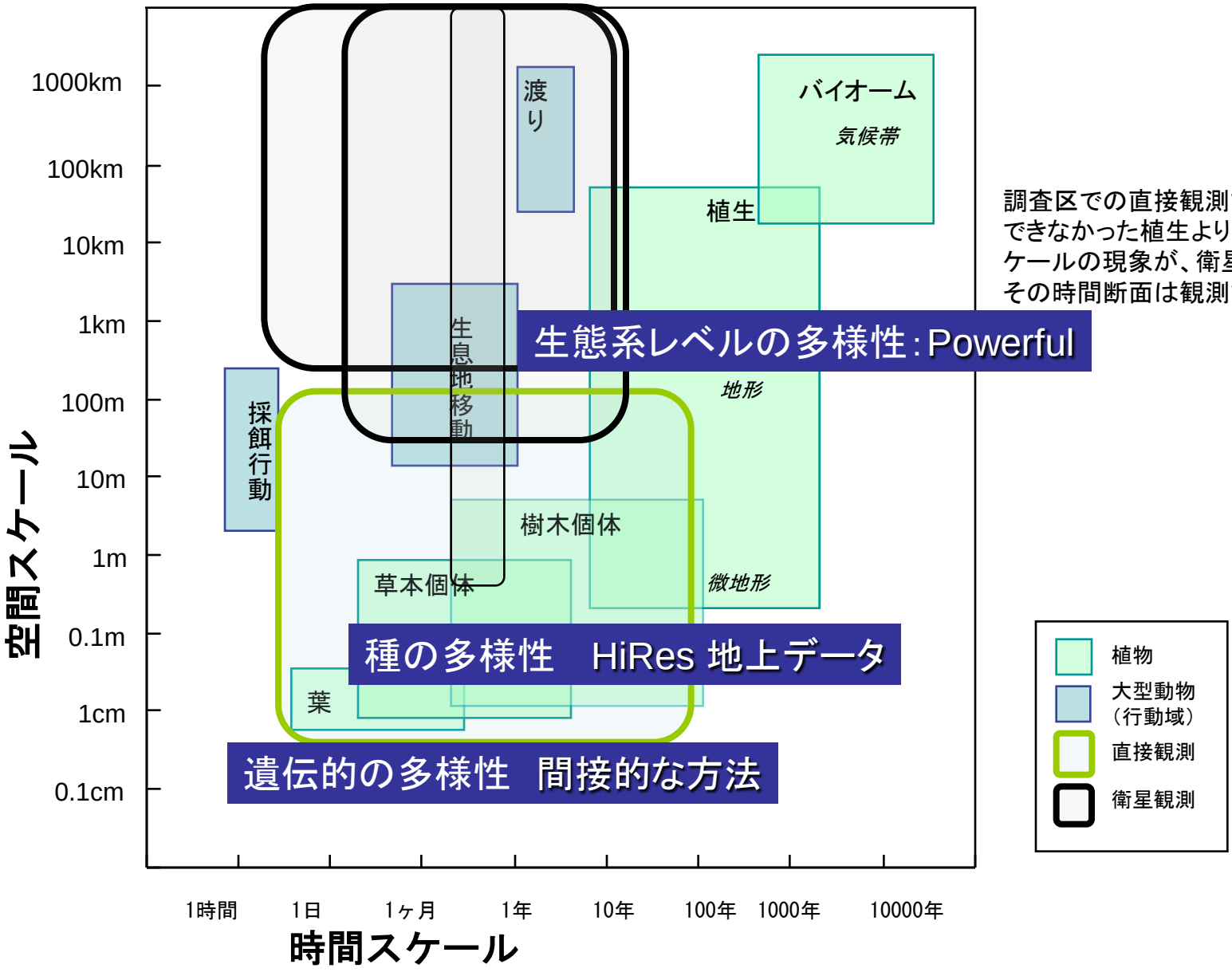


JaLTER site network (April 2009)

様々なスケールでの生物多様性

- 生態系レベル
  バイオーム、植生タイプ、土地被覆
- 種レベル
  分類群ごとの種数
- 遺伝的レベル
  種内の遺伝的変異

陸域生態系で見られるさまざまな時空間スケールの生物現象と観測手法



調査区での直接観測では、観測できなかった植生より大きいスケールの現象が、衛星観測により、その時間断面は観測できるように

（石井 和田2008より改変）

衛星リモートセンシングは
生態系・生物多様性観測に非常に有用であると
生態学の分野でも今注目が集まっている

- **空間分布としての把握**
  （植生の境界・土地利用の程度など）
- **均質で連続的な観測**

- **現地へ行く必要がない**
  （森林火災、伐採場所の特定などの1次スクリーニング）

生態系レベルでのモニタリングには非常に有効である

衛星リモートセンシングの弱点

長期データの不在

大気・雲などによるノイズ

植生の表面より下の情報がとりにくい。

単独では種の特定をすることができない

種の多様性とは:
例:植物を種レベルで分類する(ヤナギ属)

《ヤナギ属Salixの葉での検索　概要》
◆A矮小低木で匍匐する◇芽鱗は片側で離生することなく帽子状《ヤナギ亜属》(別亜属のマルバヤナギを除く)
　◆B高山帯生
　　◆C葉柄は1-3mm　◇葉は 6-13mm,巾 3-10mm◇広葉　〔マメヤナギ節=エゾマメヤナギ節〕**【エゾマメヤナギ】**
　　◆C葉柄は4-7mm(G2.5-4mm)◇葉は18-30mm,巾 6-19mm◇広葉　〔ミヤマヤチヤナギ節〕**【ミヤマヤチヤナギ】**
　　◆C葉柄は10-30mm　◇葉は20-70mm,巾15-45mm◇広葉
　　〔タカネヤナギ節=レンゲイワヤナギ節〕**【タカネイワヤナギ**=レンゲイワヤナギ,**エゾノタカネヤナギ,ヒダカミネヤナギ】**

――――――――――――――――――――p1

　◆B山地-低地生
　　◆C葉は対生もあり;50mm以下,巾 2- 5mm◇細葉　〔ノヤナギ節〕**【ノヤナギ】**
　　◆C葉は総て互生　;70-130mm,巾15-30mm◇広葉　〔ネコヤナギ節1〕**【ハイネコヤナギ**=ネコシダレv**】**

――――――――――――――――――――p2

◆A匍匐することはない
　◆B枝または小枝が下垂したりねじれたりする
　　◆C枝はあまり枝垂れないが,小枝は蛇状にねじれて下垂する◇細葉　〔シダレヤナギ節1〕**【ウンリュウヤナギ】**
　　◆C枝は真直ぐ枝垂れ下垂する◇細葉
　　　◆D小枝は著しく伸長せず,老木では枝が枝垂れるが長くない　〔シダレヤナギ節2〕**【ヨシノヤナギ,ウラジロヨシノヤナギf,シロヤナギ】**

――――――――――――――――――――p3

　　　◆D小枝は長く伸長し,よく枝垂れる　〔シダレヤナギ節3〕　**【シダレヤナギ,ロッカクヤナギf,セイコヤナギf】**

――――――――――――――――――――p4

　◆B枝は下垂したりねじれたりしない
　　◆C葉や穂は対生するものがある◇細葉
　　◇成葉は両面無毛;裏は白味帯る◇小枝無毛◇托葉なし　〔カワヤナギ節1=コリヤナギ節〕**【イヌコリヤナギ,コリヤナギ】**

――――――――――――――――――――p5

　　◆C◇細葉◇葉や花は総て互生する
　　　◆D◇細葉◇葉裏は銀白を呈す◇新葉の側縁は「の字」状に裏側に巻込む◇側脈は裏凸する〔キヌヤナギ節1〕**【キヌヤナギ,エゾノキヌヤナギ】**

――――――――――――――――――――p6

　　　◆D◇細葉◇葉裏は普通淡緑で艶があり白味はない;側脈はやや裏凸する◇葉は両面とも中肋付近有毛,それ以外は無毛
　　　〔シダレヤナギ節4〕**【ヨシノヤナギ】**

　　　◆D◇細葉◇葉裏はやや白味がある
　　　　◆E葉は線形が標準;時に尾状鋭尖頭で鎌曲する;巾20mm以下;側脈は裏凸しない　〔シダレヤナギ節5〕**【タチシダレヤナギ】**

――――――――――――――――――――p7

　　　　◆E葉は被針形-広被針形が標準
　　　　　◆F側脈は裏凸しない;葉は特に鎌曲せず◇若葉は両面多毛◇葉柄に微毛多数残る◇新枝は多毛-密毛
　　　　　〔シダレヤナギ節6〕**【コゴメヤナギ,シロヤナギ】**

――――――――――――――――――――p8

　　　　　◆F側脈は裏凸する◇若葉は有毛,裏中脈は多毛◇
　　　　　　◆G葉縁は強く裏に巻き弧状鋸歯;葉革質;裏側
　　　　　　◇托葉は鋭頭の細卵形-曲長卵形だが,縁が裏巻
　　　　　　◆G葉は鋸歯縁;洋紙質;裏側脈・細脈は凸出し肋
　　　　　　◇宮城・群馬に分布

――――――――――――――――――――p9

　　　　　　◆G葉は鋸歯縁;洋紙質;裏側脈は細く細脈は平坦◇托葉は鋭頭被針形,有柄◇葉(中脈除く)は両面無毛
　　　　　　〔カワヤナギ節2=コリヤナギ節〕**【カワヤナギ,エゾノカワヤナギ】**

維管束植物だけで25万種以上!

生物多様性観測にリモートセンシングの能力を発揮するには

- 生物の*直接的観測*
  Direct mapping of individual plants or associations of single species in relatively large, spatially contiguous units. (for high resolution remote sensing cf. several ten centimeters)

- 生物の生息環境の推定による*間接的観測*
  Habitat mapping using remotely sensed data, and predictions of species distribution based on habitat requirements.

H. Nagendra (2001) Using remote sensing to assess biodiversity.
***Int. J. Remote Sensing*, 22, 2377–2400.**

に分けてそれぞれの手法を高度化する必要がある

1.直接観測からのアプローチ

RS-derived images/indices

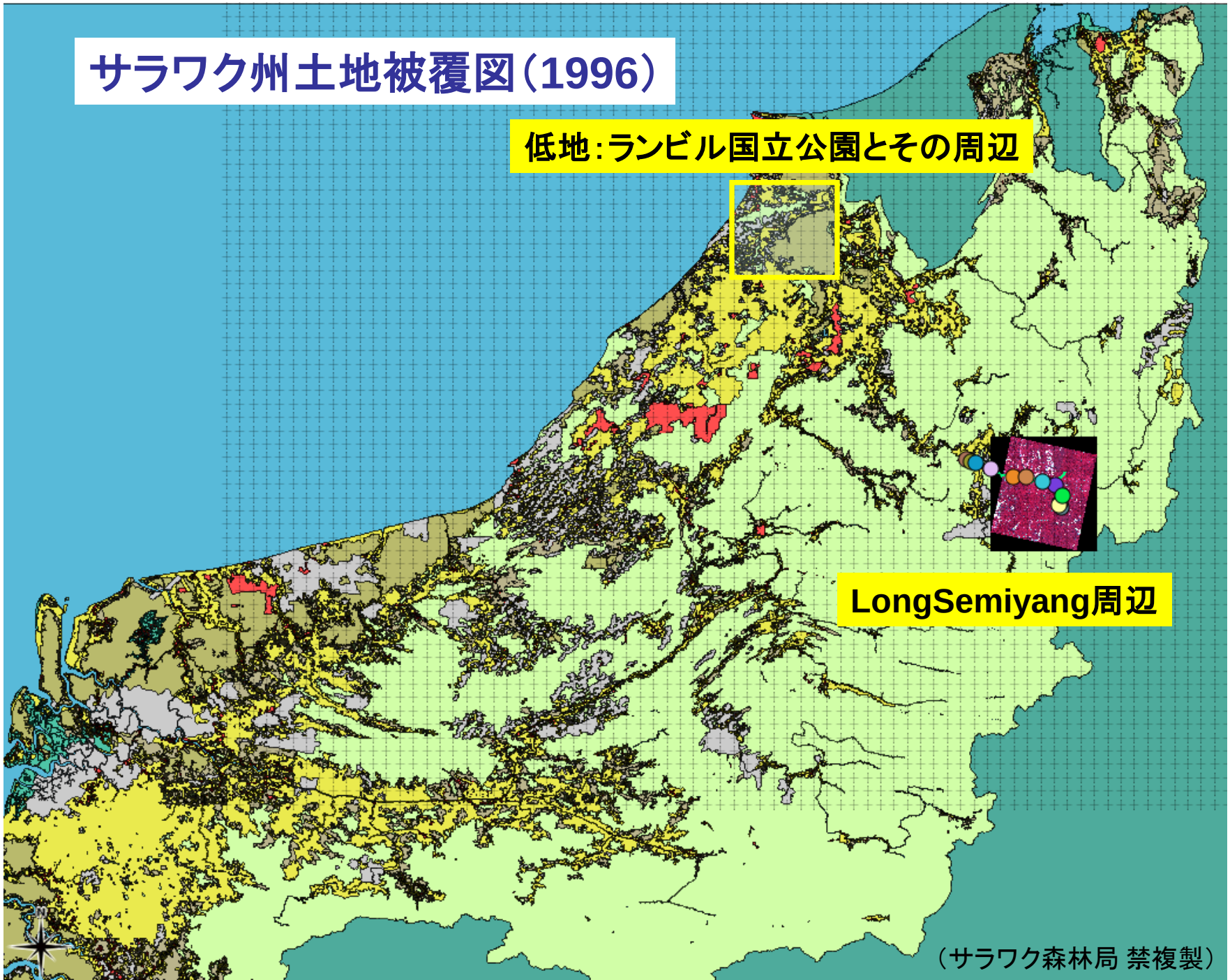
Vegetation Classification
多次元での分類

生物特性:
・林冠の分光反射特性
・林冠の高さ
・フェノロジー

人為的要因:
・土地利用の特性(伐採/植林/堪水など)

Species distribution

Species list, *in situ* verification

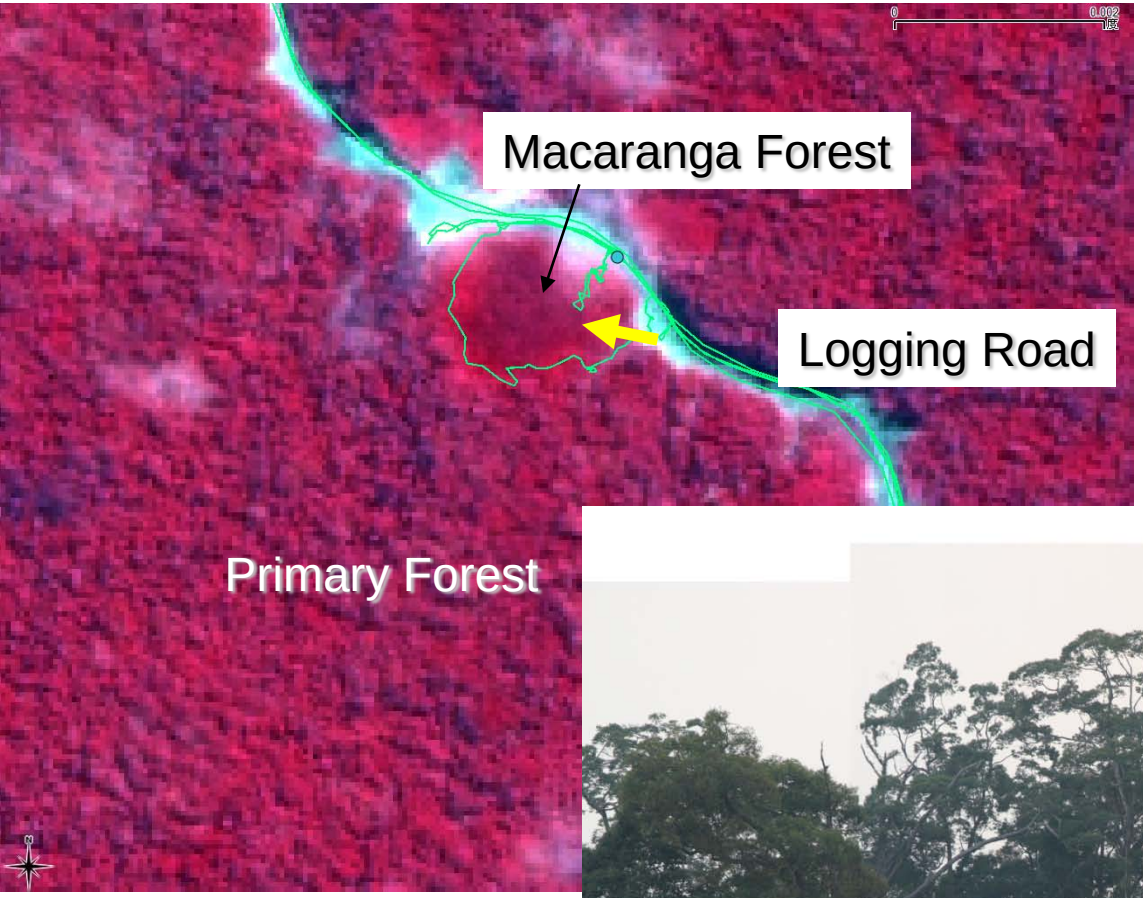

サラワク州土地被覆図（1996）
低地：ランビル国立公園とその周辺
LongSemiyang周辺
（サラワク森林局 禁複製）

アカシアプランテーション（大規模）

残存の天然林を評価するには高解像度の衛星画像が必要

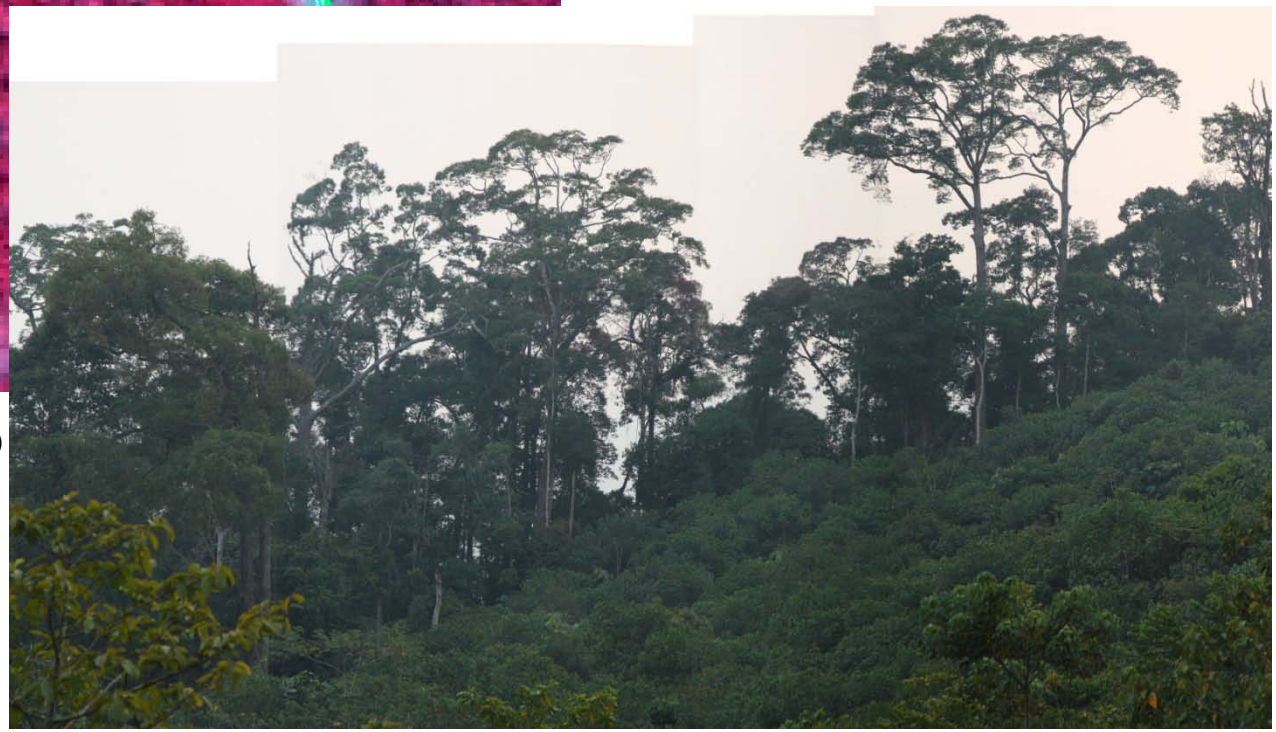
伐採後の焼畑（数十m～100m）

200m



ALOS AVNIR2 panchro

原生林とマカランガ林では
ピクセル単位の植生指数に差は出ない。
→オブジェクトベース・テクスチャー解析（“もこもこ度”）で分類する方法を進行中



ローカルな地上データによる検証の集積が非常に重要

2.間接観測からのアプローチ

Vegetation
Classification

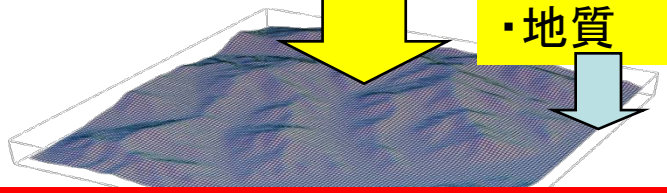
Climate,
Topography,

Plant
Species
distribution

Species list, *in situ* ver

生物の存在場所と物理環境の相関
・地形/微気候依存性・
・地質

物理的生息環境



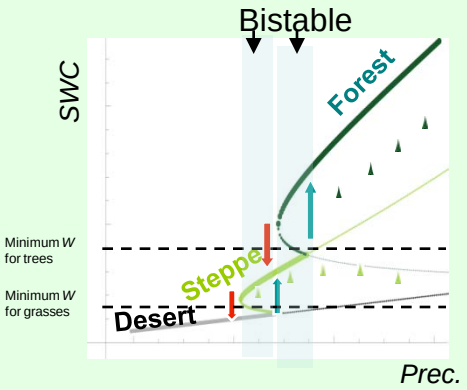
地上データによる検証が非常に重要
潜在的な分布域のマッピングが可能→生物多様性の変動の予測研究に大きな威力

Dynamic Vegetation Land-Cover Model (ex. Forest-Steppe region in Mongolia)

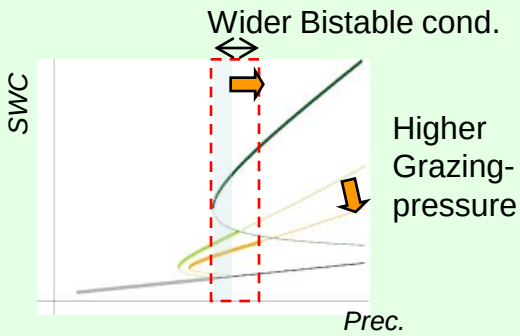
（石井・未発表）

Process models for Ecological interactions

(Plant-SWC, Plant-Herbivore)

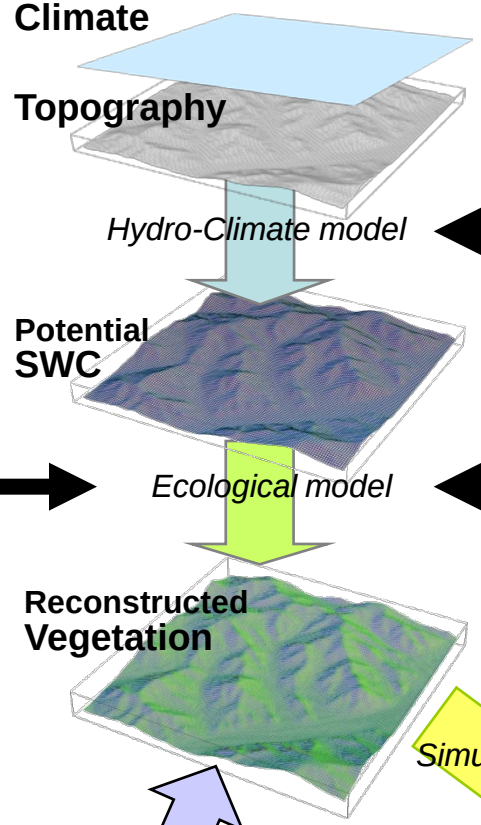


***Vege REGIME-SHIFT** by Prec. change*



***More Discontinuous Vege-transition** with higher Grazing-pressure*

SWC: Soil Water Content
WHC: Water Holding Capacity

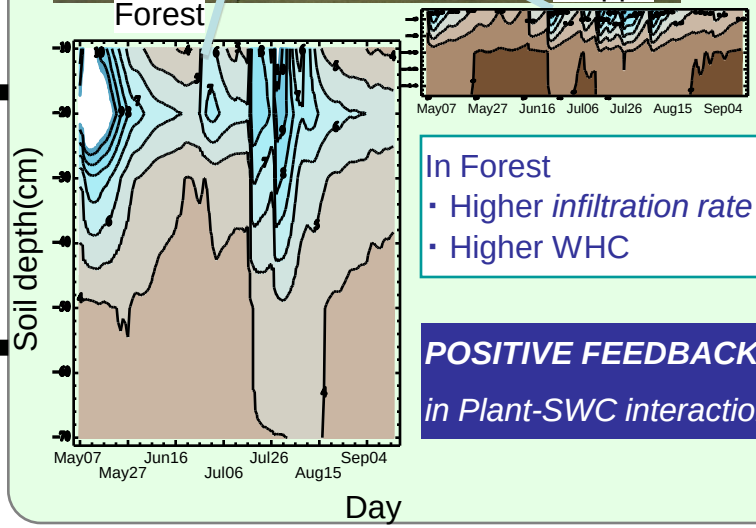


Remote-Sensing

LandCover,Biomass

In situ Vege/Meteo/Hydro Observation

(ex. SWC(%) during 2009 Summer)



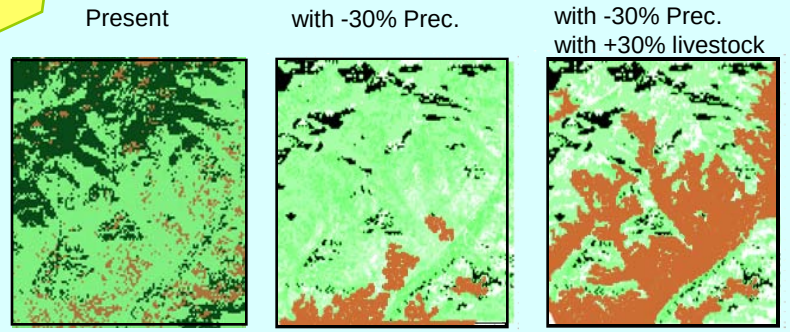
In Forest
- Higher *infiltration rate*
- Higher WHC

***POSITIVE FEEDBACK** in Plant-SWC interaction*

Scenario-based Projections

(ex. 40yrs Future Vegetation)

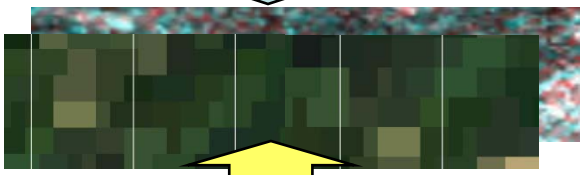
Simulation



Drastic Vege-transition might occur at the Topographic spatial scale

3. 間接観測からのアプローチ（動物・林床植物など）

Vegetation
Classification



Model-estimation

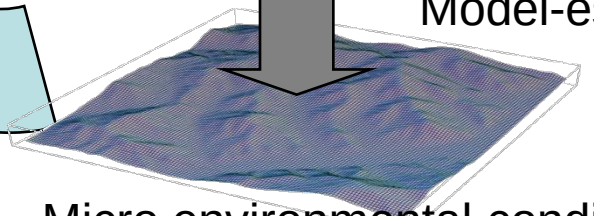
Climate,
Topography,
Geology

Plant Species
distribution

Model-estimation

Model-estimation

Potential Habitat



Micro environmental conditions….

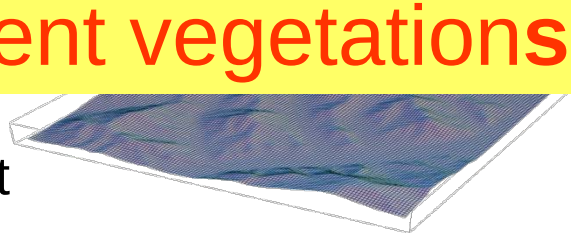
水平的展開による高密度な検証サイトが必要

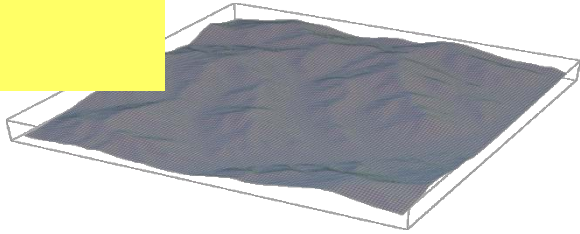
Vegetation Classification

Plant Species distribution

We Need *Super Sites* for different vegetations

Potential Habitat





Micro environmental conditions,…

生物多様性に影響を与える要因の分布についてもRSは使える

「生物多様性の危機」 Biodiversity crisis

(第三次国家戦略による by 3rd NBSAP)

■ 第1の危機 Crisis 1

人間活動ないし開発が直接的にもたらす種の減少、絶滅や生息・生育空間の縮小、消失

Overexploitation and development

■ 第2の危機 Crisis 2

自然に対する人間の働きかけが縮小撤退することによる里地里山などの環境の質の変化、種の減少など

Underutilization（*Satoyama* issue）

■ 第3の危機 Crisis3

外来種、化学物質など人為的に持ち込まれたものによる生態系の撹乱。

Artificially introduced factors (Alien Species, chemicals)

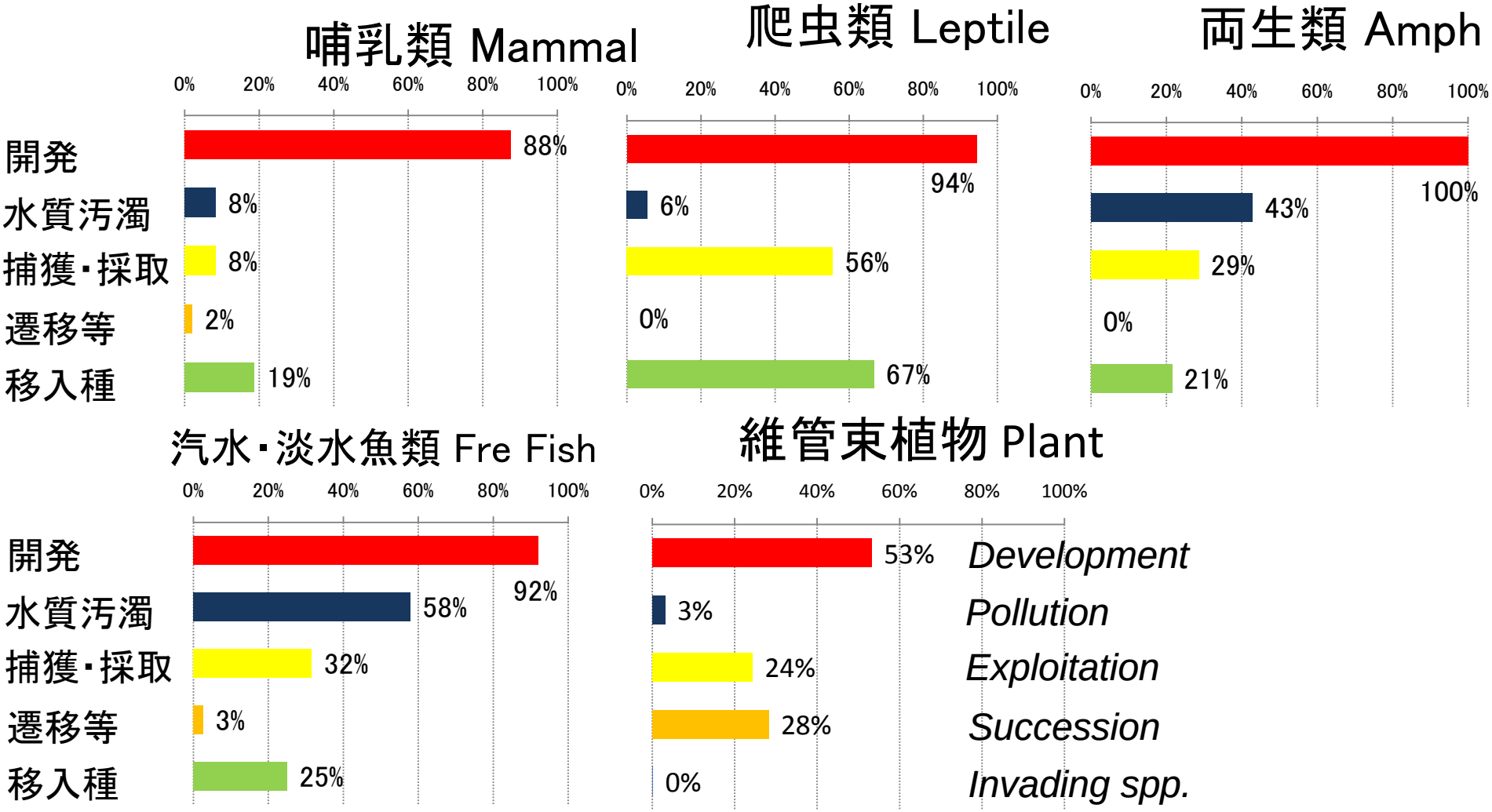
■ 地球温暖化の危機 Crisis4

種の絶滅や脆弱な生態系の崩壊など、地球温暖化の進行が生物多様性に対して与える影響。

Global warming

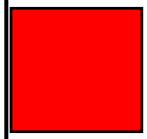
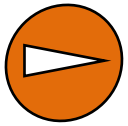
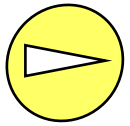
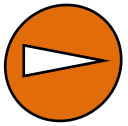
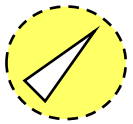
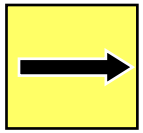
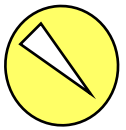
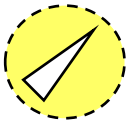
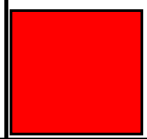
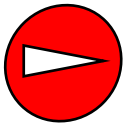
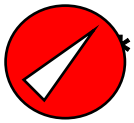
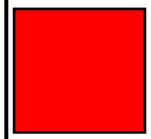
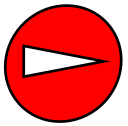
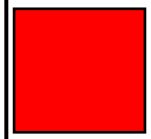
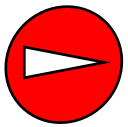
出典：第3次生物多様性国家戦略

生物分類群ごとの絶滅危惧種の減少要因



出典：環境省，2002：改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物－レッドデータブック－1（哺乳類）．
環境庁，2000：改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物－レッドデータブック－3（爬虫類・両生類）．
環境省，2003：改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物－レッドデータブック－4（汽水・淡水魚類）．
環境庁，2000：改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物－レッドデータブック－8（植物Ⅰ　維管束植物）．

2010年までの生物多様性の損失 Summary

	損失の状態と傾向 State		損失の要因（影響力の大きさ）と現在の傾向 Drivers				
	本来の生態系から From original	1950年代後半から Since late 1950s	第1の危機 Overuse	第2の危機 Underuse	第3の危機 Alien	温暖化の危機 Warming	複合的な要因等
森林 **Forests**							
農地 **Agriculture**	–						・農作物や家畜の地方品種等の減少
都市 **Urban**	–			–			
陸水 **Freshwater**							
沿岸・海洋 **Marine**				–			・サンゴ食生物の異常発生 ・藻場の磯焼け
島嶼 **Island**				–			

ほとんどの生態系に対して有用

衛星リモートセンシングの弱点

長期データの不在

大気・雲などによるノイズ

植生の表面より下の情報がとりにくい。

単独では種の特定をすることができない

生物多様性観測が衛星観測に望むこと

同じ領域を多くの
・センサー （分光反射特性・3D構造…）
・時期（フェノロジー、季節的土地利用…）
情報があればローカルな推定方法は高度化できる

十分な地上観測との連携が不可欠である

長期間の高頻度の画像があれば、土地被覆の改変遷移の進行などがわかるようになる

ぜひずっと続けてください

ALOS3の通過時刻は何時頃がいいのか?

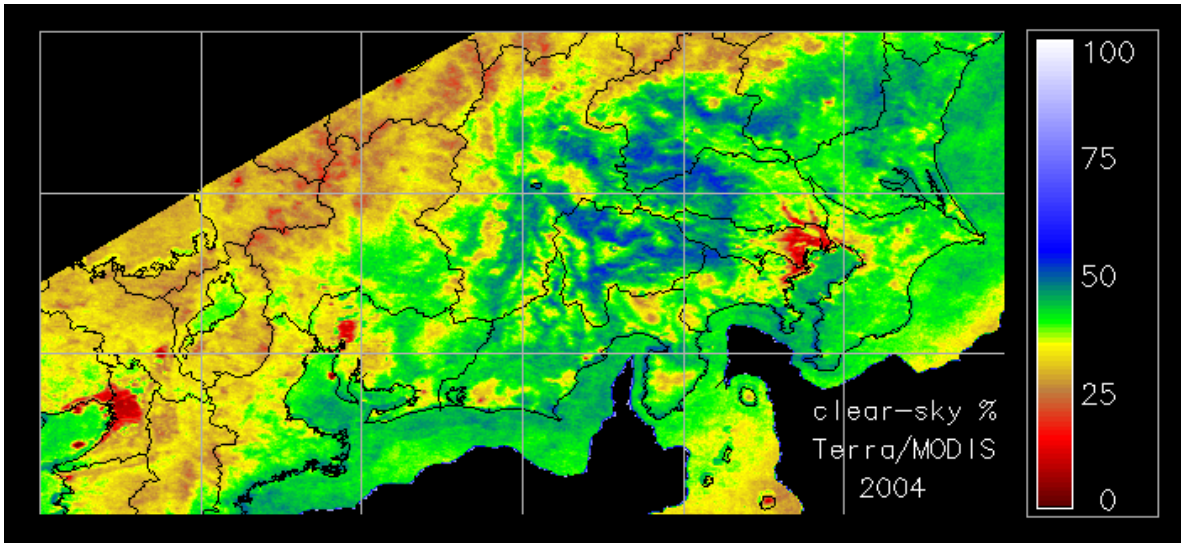
地上写真と検証：精度93%以上

「晴れ」の割合の空間分布 (2004/01/01～12/31 MOD09 雲フラグ)

(赤いほど曇りが多い)

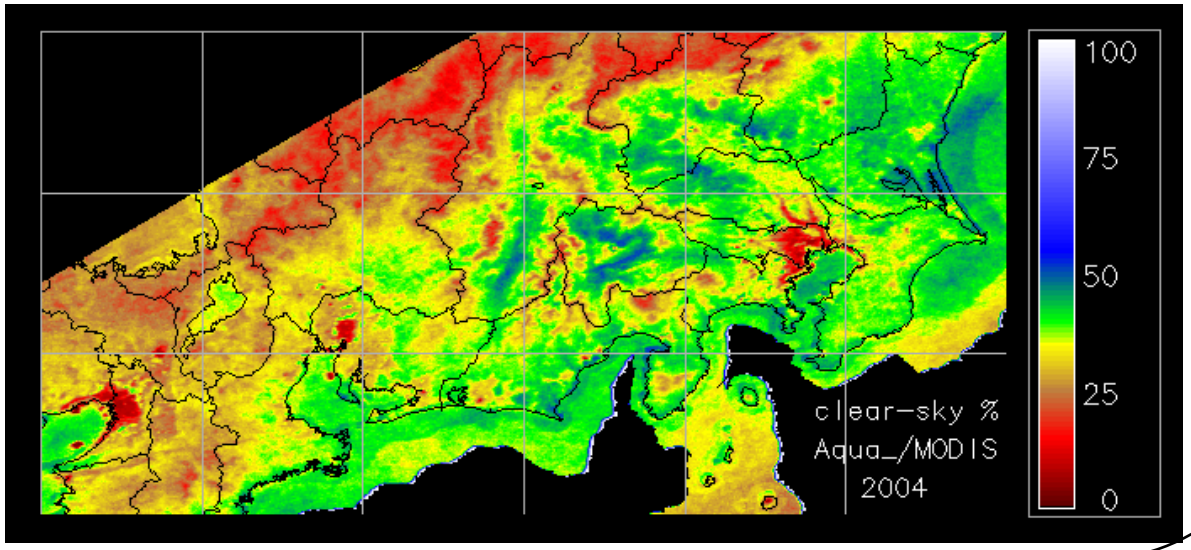
Terra/MODIS

日本付近（北緯36度）は
10:53±00:50
に通過



Aqua/MODIS

日本付近（北緯36度）は
13:07±00:50
に通過



→ 少なくとも日本の関東～中部～近畿なら午前中！

（奈佐原顕郎氏より提供）