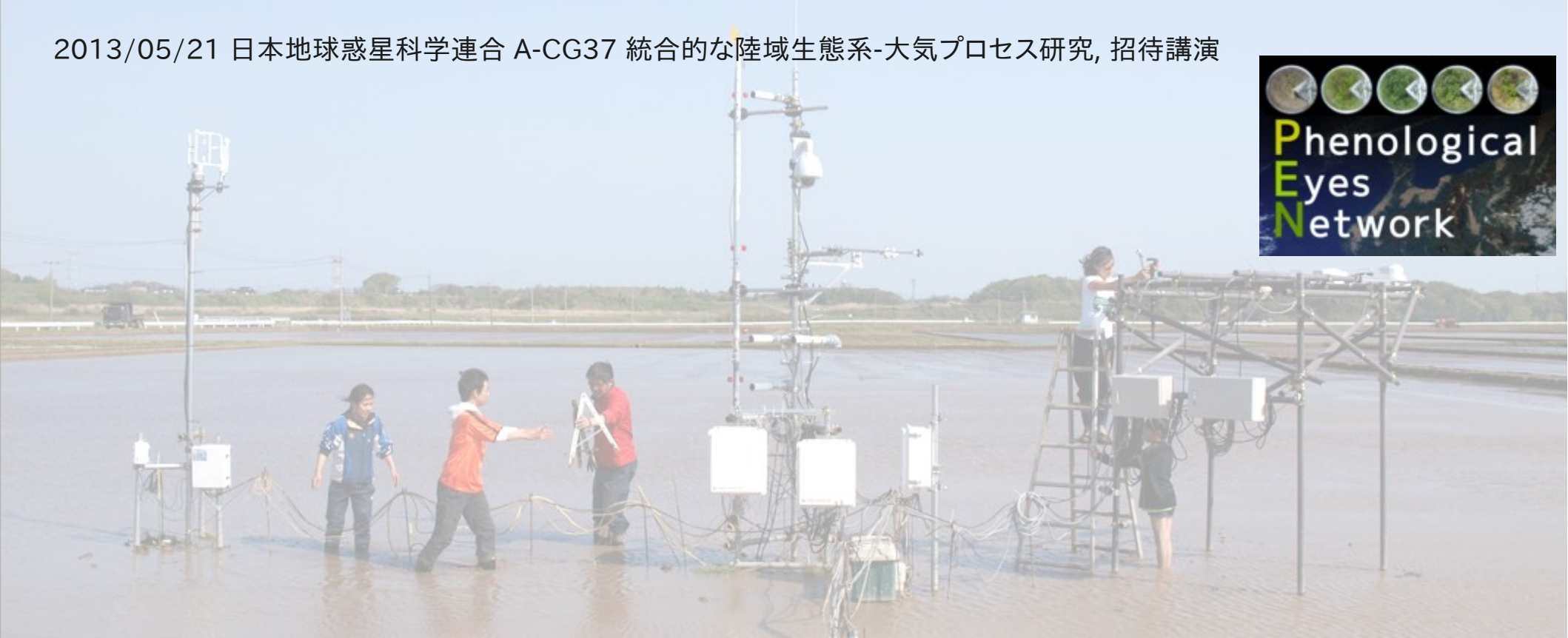
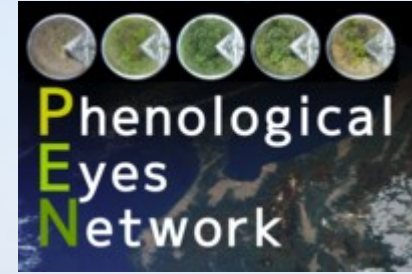




Phenological Eyes Network による生態系長期観測



筑波大学
University of Tsukuba

奈佐原(西田)顕郎

2000年頃の私(&多くの衛星生態学屋)の悩み:

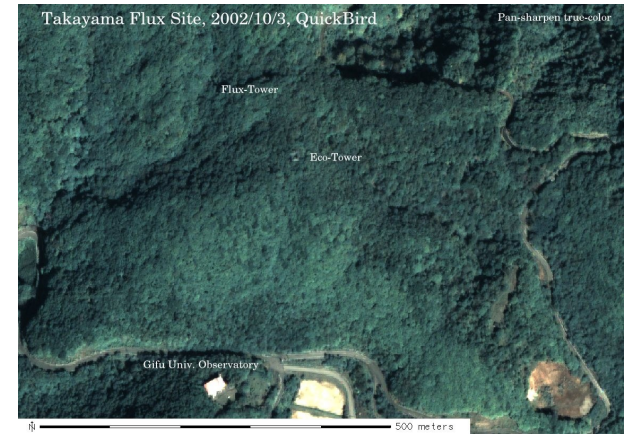
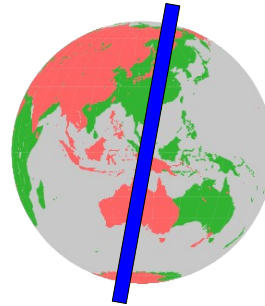
陸域生態系研究に, 衛星データをどう使えばいいのか...?

高分解能衛星 (Ikonos, Quickbird etc.)

木を1本ずつ観測できる!

でも... **高い!** (数10万円/数km²)
頻繁には撮れない! (数回/年)

→ bad idea

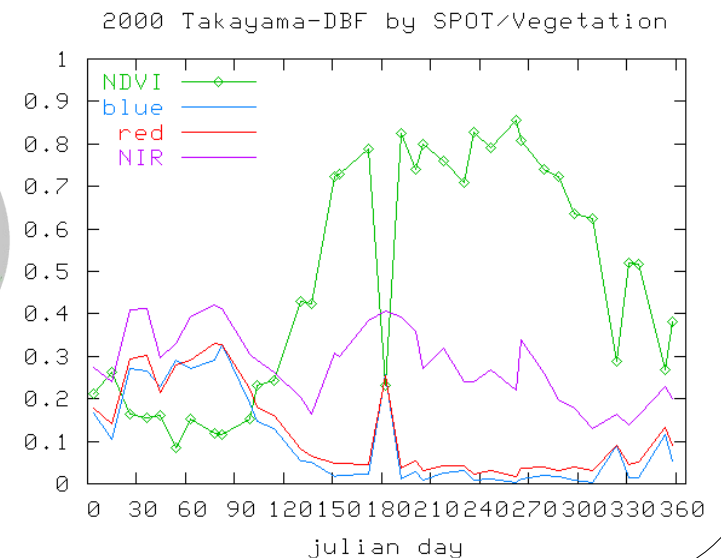
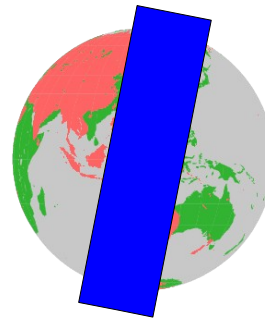


中・低分解能衛星 (NOAA/AVHRR, MODIS etc.)

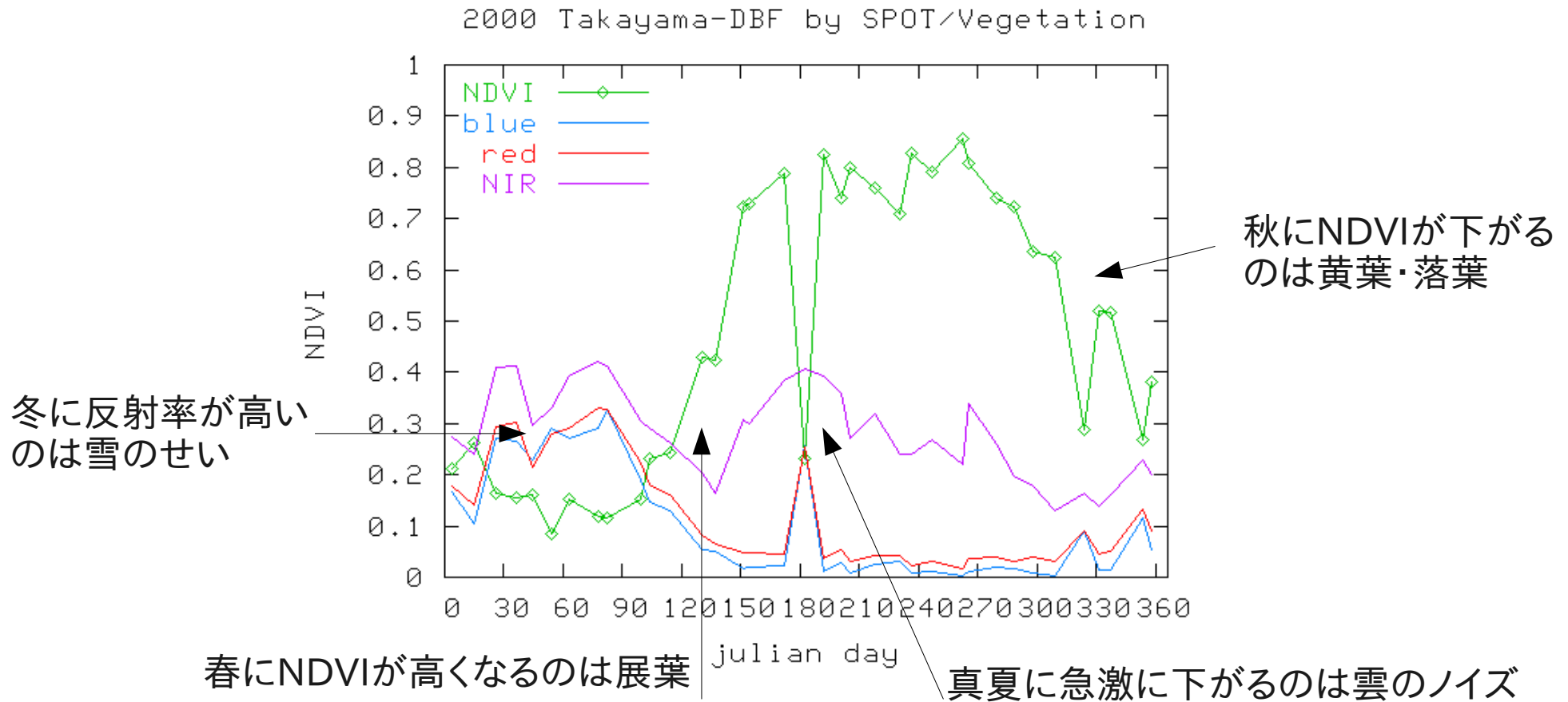
地域スケール～大陸スケールになっちゃう。

でも... **無料!**
頻繁に撮れる! (毎日)

- こいつをなんとか利用しよう!
- 高頻度観測(時系列)から見える生態系情報は?
- 季節変化・年変化 (フェノロジー・土地利用変化!)



中・低分解能衛星の高頻度時系列情報を どう読み取るか？



↑この程度の定性的・感覚的な解釈はその当時も既に可能だった。

でも... 衛星情報 (NDVIや他の植生指標やバンド反射率) が、どのような値のときに生態系はどのような季節状態なのか？ 定量的・実証的・系統的な検証データがほとんど無かった。

衛星屋がよくやる地上検証観測(グランドトゥールース)

http://www.qa4eo.org/docs/QA4EO-WGCV-IVO-CLP-004_vDraft.pdf

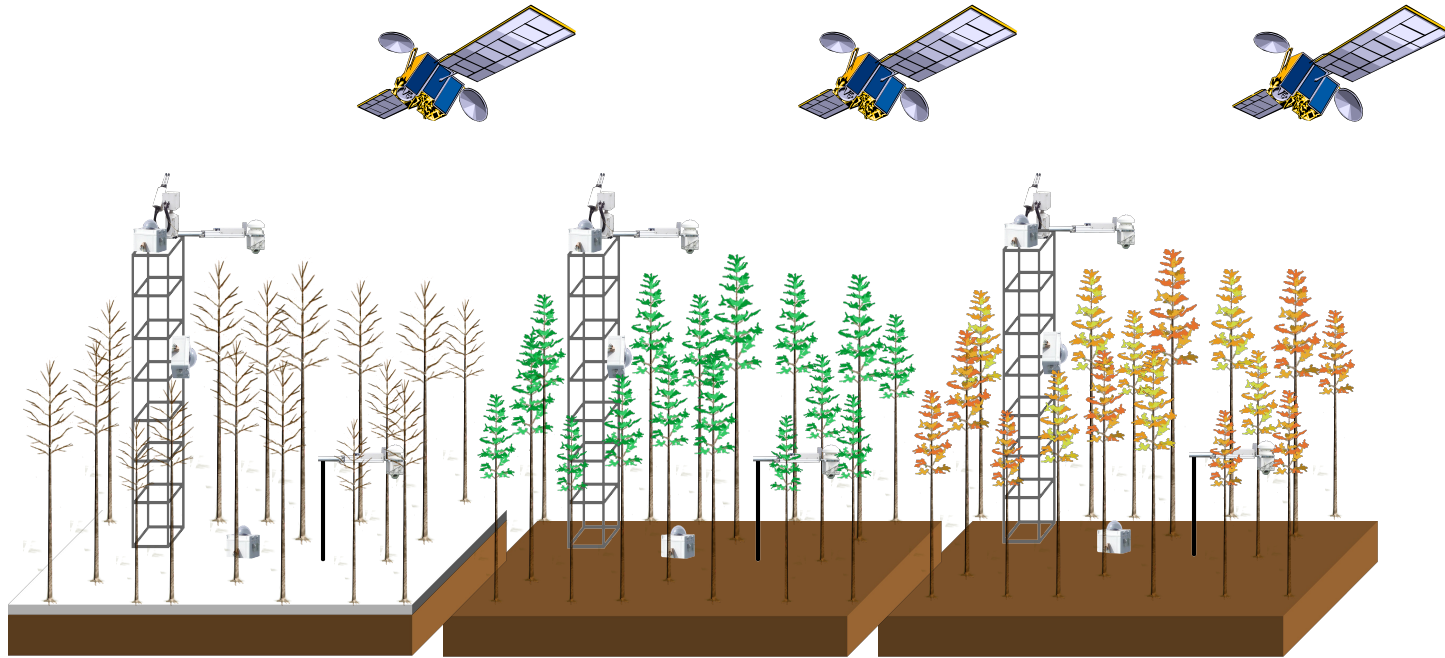


- * 地表面の反射光をどれだけ正確に(物理的に)観測できているか?をチェックする。
- * 一時的(テンポラル)な観測。



反射光の量は正確にわかるようになるかもしれない。
でも、それだけで「生き物の状態の時々刻々の変化」は解釈できない。

中・低分解能衛星の高頻度時系列情報に
対比できる、**生き物目線**の地上**連続観測**網を!



2003～

Phenological Eyes Network

フェノロジー観測が目的だったのではない。
あくまで衛星生態学観測の地上検証が目的。
しかし、その主なターゲットがフェノロジーだったのでこのような名前をつけてしまった。
(命名者は確か産総研の土田聡さん)

PENに関わってきた人々（立ちあげ・システム開発・機材管理・データ管理・解析・論文書き等）

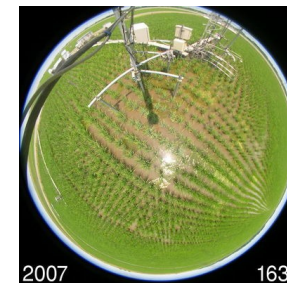
原著論文・学会発表共著者 93名

齋藤啄, 和泉潤, 鈴木力英, 鈴木あづさ, 野田響, 本岡毅, 牧雅康, 保坂, 福島, 武田洋紀, 奈佐原顕郎, 藤島理, 藤沼康実, 土田聡, 田村正行, 中路達郎, 中村良介, 中川奈未子, 中西理絵, 中井裕一郎, 池田崇史, 谷誠, 大久保晋治郎, 村上和隆, 村上浩, 村松加奈子, 村山昌平, 村岡裕由, 曾山, 前田高尚, 川尻浩史, 川戸渉, 石原光則, 石井励一郎, 瑞慶村知佳, 水沼利恵, 森本宏, 松本卓也, 松下文経, 松永恒雄, 小林秀樹, 小泉博, 小杉緑子, 小熊宏之, 秋津朋子, 秋山侃, 児島利治, 山本晋, 山本浩万, 山下恵, 三上寛了, 三枝信子, 高梨聡, 高木健太郎, 溝口康子, 後藤誠二郎, 古海忍, 玉川一郎, 宮田明, 久米篤, 吉野純, 吉村充則, 鞠子茂, 亀井秋秀, 岩男弘毅, 岩崎晃, 関川清広, 関口, 間野正美, 蒲生稔, 下田星児, 永井信, 永井, 羽田野真由美, 井上吉雄, 井手玲子, Wingate, Weltzin, Vienna, Thanyapraneeekul, Tanaka, Suzuki, Son, Richardson, Potitthep, Ninsawat, Mencuccini, Lee, Kim, Grace, Daigo, Busey

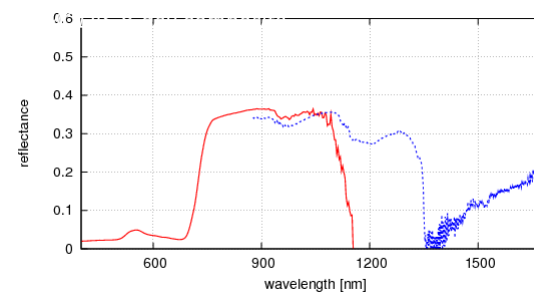
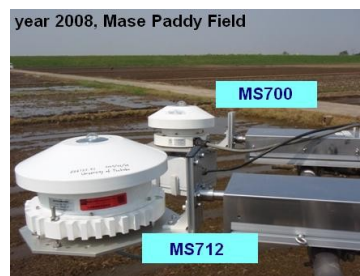


PENを構成する主要な観測機材

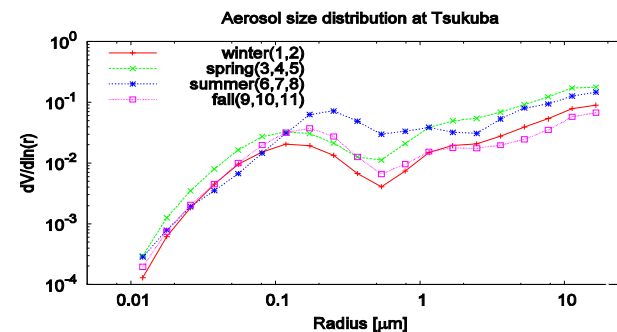
自動魚眼デジカメ Automatic Digital Fish-Eye Camera



自動分光放射計 Automatic spectrometer (VIS/NIR/SWIR)



サンフォトメータ Sunphotometer (for aerosol)

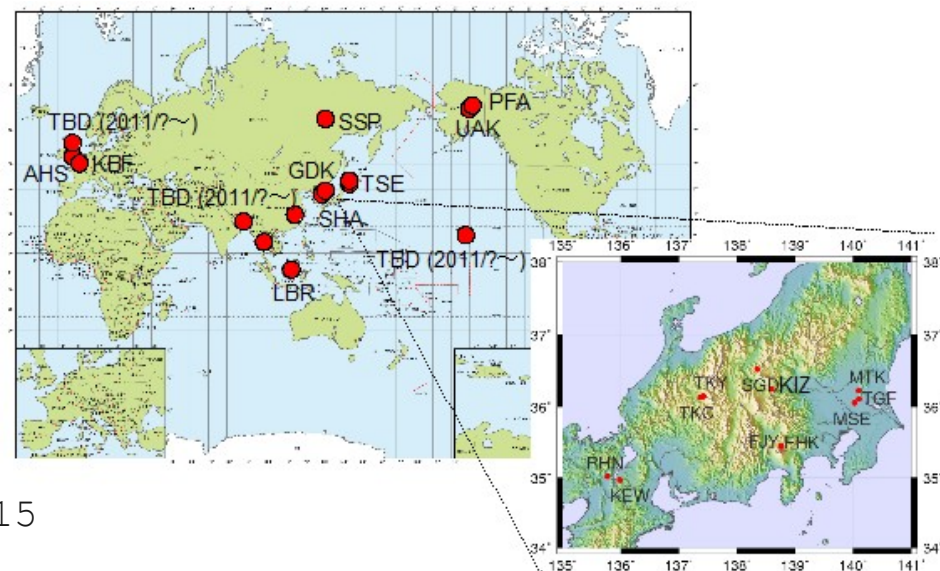


List of PEN sites

ID	Country	Type	Year	Instruments

AHS	UK	DBF	2009-	ADFC.
AI7	Japan	urban	2004 only.	Sky ADFC.
EGT	Thailand	mixed	1999-2003.	film camera.
GDK	Korea	DBF	2009-	ADFC, HSSR
FHK	Japan	DNF	2005-	ADFC, HSSR, SP.
FJY	Japan	ENF	2009-	ADFC.
HVT	Hawaii	EBF	2012-	ADFC.
JND	China	rice	2010-	ADFC.
KBF	Germany	DBF	2010-	ADFC.
KFS	Egypt	rice	2011-	ADFC.
KIZ	Japan	DBF	2009-	ADFC.
KEW	Japan	ENF	2004-	ADFC, HSSR.
LBR	Malaysia	EBF	2009-	ADFC.
MSE	Japan	rice	2005-	ADFC, HSSR.
MMF	Japan	mixed	2010-	ADFC.
MTK	Japan	mixed	2008-	ADFC;
PFA	Alaska	ENF	2011-	ADFC.
SSP	Russia	DNF	1997/08/25-2000/10/15	
RHN	Japan	urban	2005-2006.	Sky ADFC
SGD	Japan	grass	2005-	ADFC.
SHA	Korea	DBF	2010-	ADFC.
TFS	Japan	DNF	2004.	Destroyed by a typhoon.
TGF	Japan	grass	2003-	ADFC, HSSR, SP.
TKC	Japan	ENF	2007-	ADFC, HSSR.
TKY	Japan	DBF	2003-	ADFC, HSSR, SP.
TSE	Japan	mixed	2010-	ADFC.
UAK	Alaska	ENF	2010-	ADFC.
YGT	Japan	DNF	2011-	ADFC.

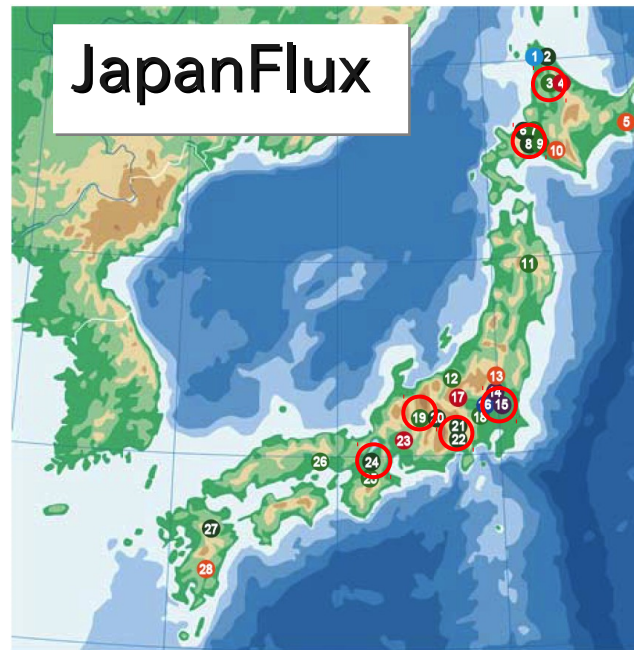
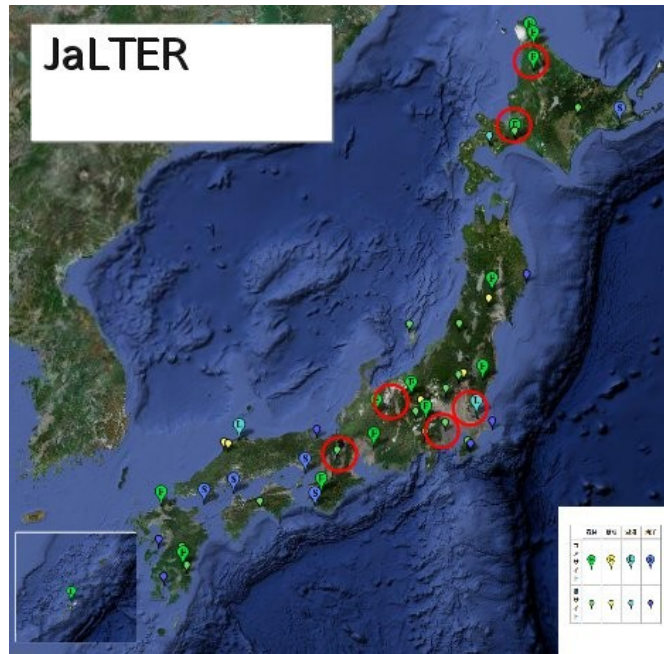
最初のPEN



最も長い連続観測

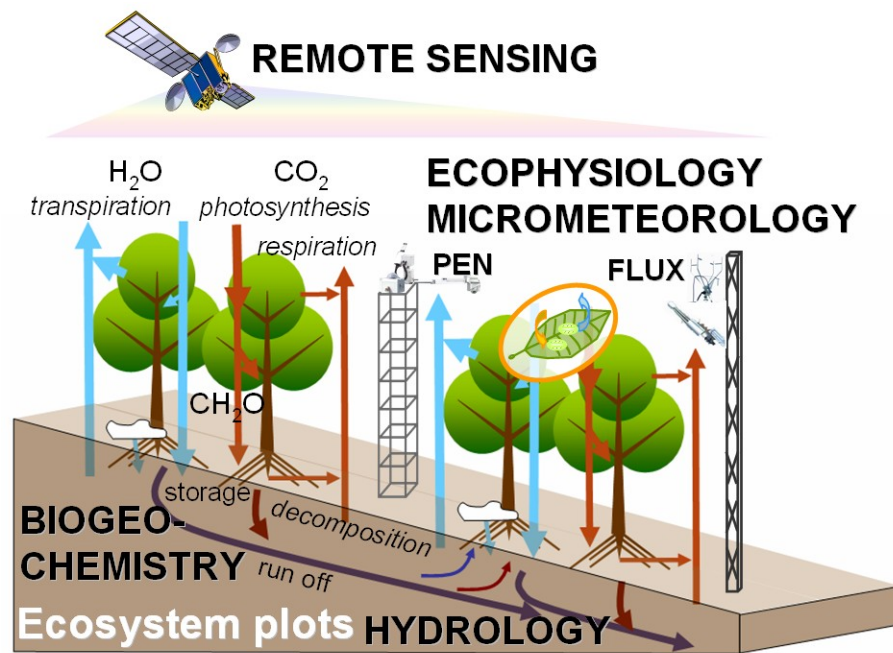
ほとんどのサイトは
カメラだけ。

PENサイト ... できるだけ既存のスーパーサイトに乗っかる!



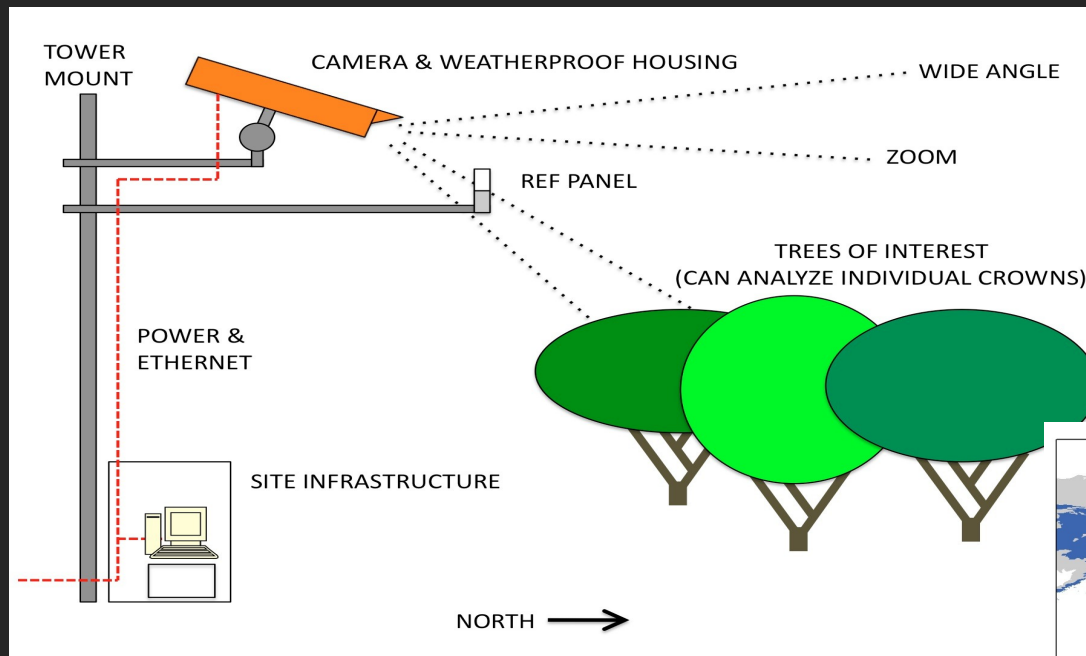
We can share!

- Infrastructure
- Satellite data
- Education opportunity
- Model
-



Phenocam

<http://phenocam.sr.unh.edu/webcam/>



PhenoCam Gallery

Home Gallery Map Data Links About Welcome, Guest (login)

Click on an image to go to that site's page (currently, core sites only).
Or go to the location map to find a site geographically.
The * indicates a site where both RGB and IR images are being collected.

Core Sites:

BIOME

- Tropical moist forest
- Tropical dry forest
- Tropical coniferous forest
- Temperate Broadleaf
- Temperate Coniferous
- Boreal forests
- Savannahs
- Temperate grasslands
- Flooded grasslands
- Montane shrubs and grass
- Tundra
- Mediterranean
- Deserts
- Mangroves
- Other
- Unclassified

Michael Toomey*, Lars Eklundh#, Kenlo Nishida**, John Campbell ¶,
Edoardo Cremonese &, Stephen Klosterman*, Andrew Richardson*

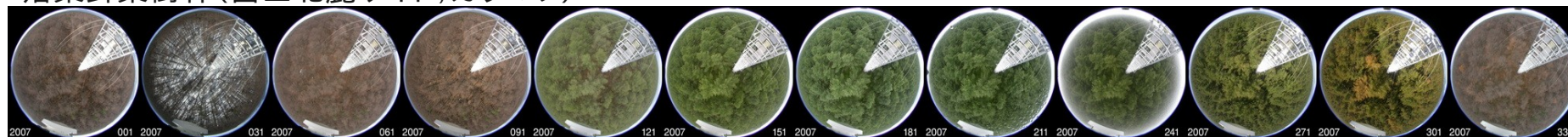
*Harvard University, #Lund

常緑針葉樹林(高山C50サイト; スギ)

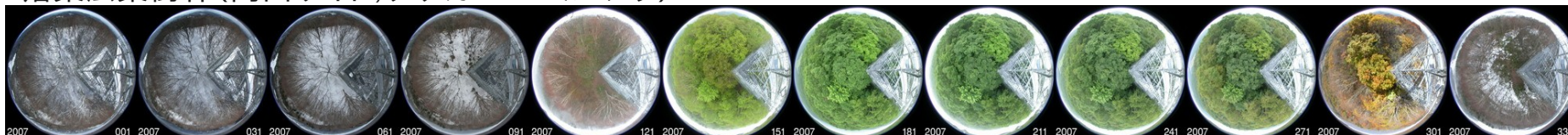
自動魚眼デジカメによる群落定点写真 (PEN)



落葉針葉樹林(富士北麓サイト; カラマツ)



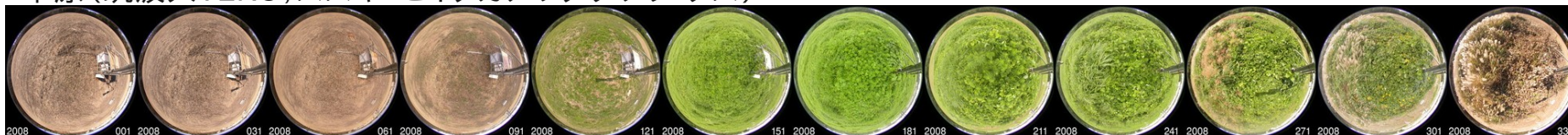
落葉広葉樹林(高山サイト; ダケカンバ・ミズナラ)



水田(真瀬サイト; コシヒカリ)



草原(筑波大TERC; ススキ・セイタカアワダチソウ・クズ)



草原(筑波大学菅平高原実験センター; ススキ)



毎年のフェノロジーのモニタリング

高山サイト, 2003-

5/12 5/14 5/16 5/18 5/20 5/22 5/24 5/26 5/28 5/30 6/01 6/03

2004

2005

2006

2007

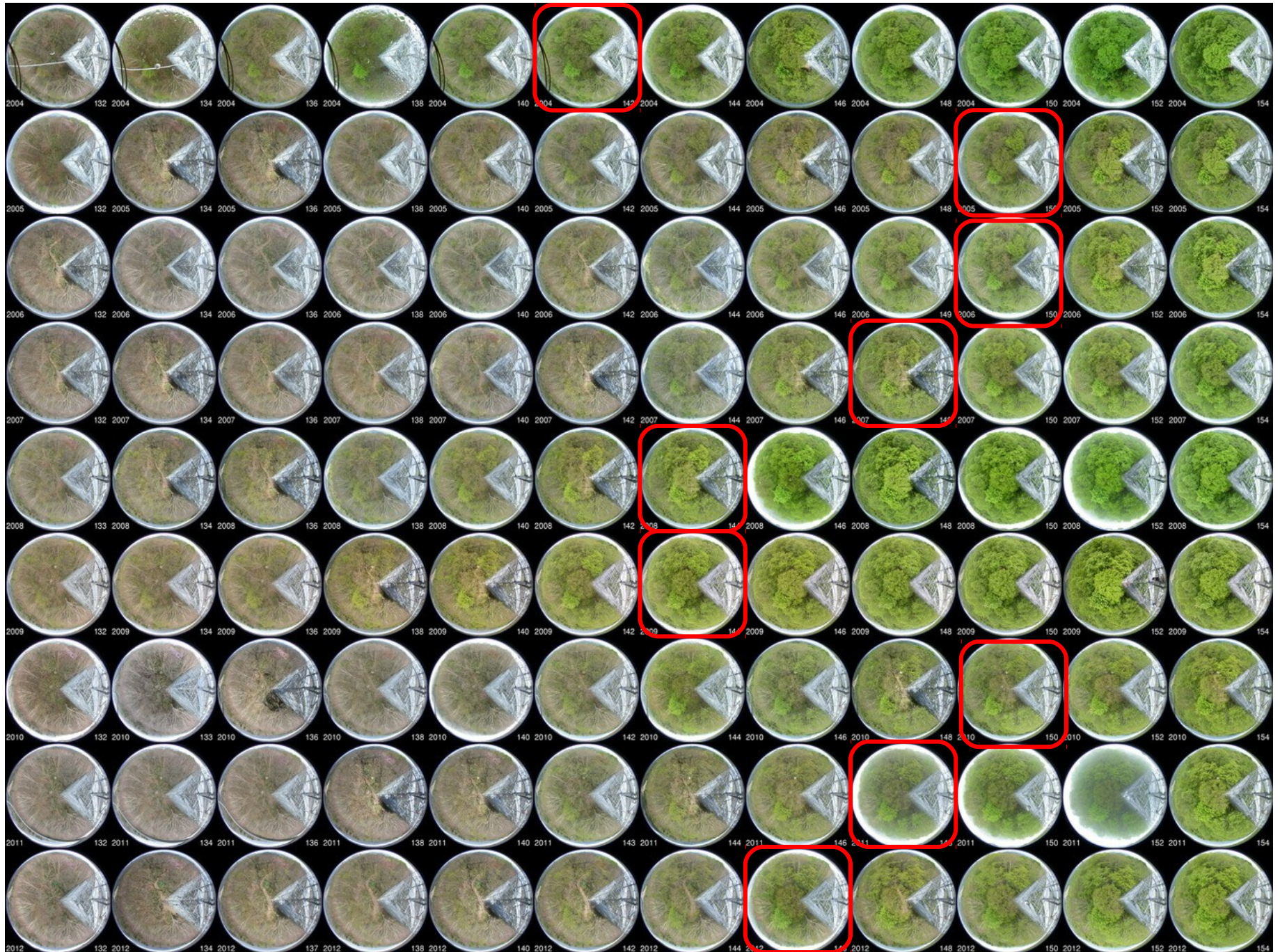
2008

2009

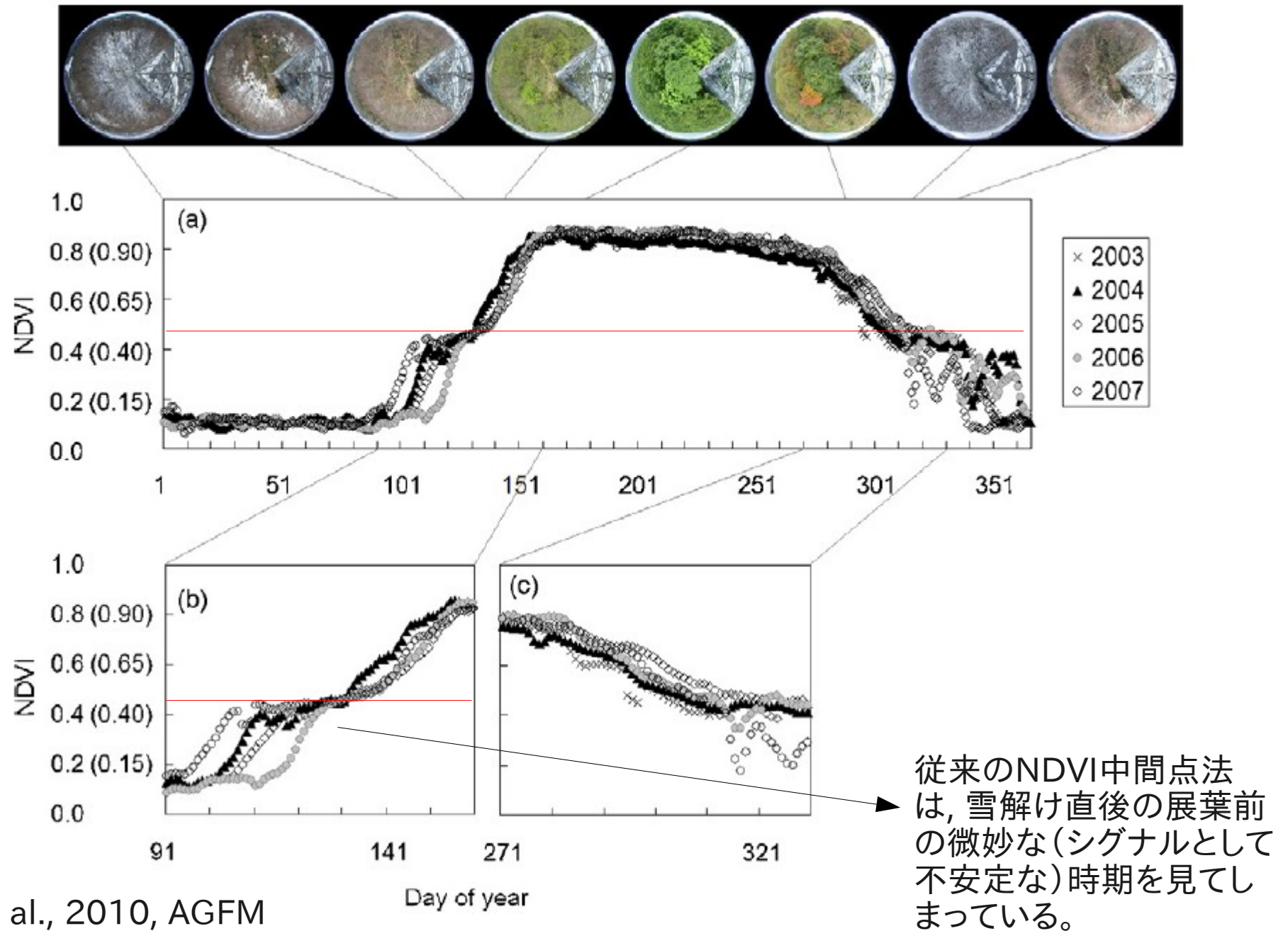
2010

2011

2012



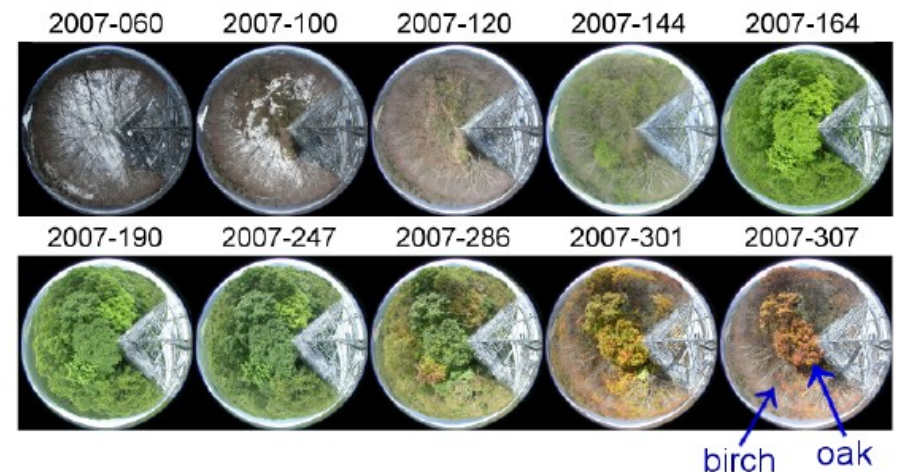
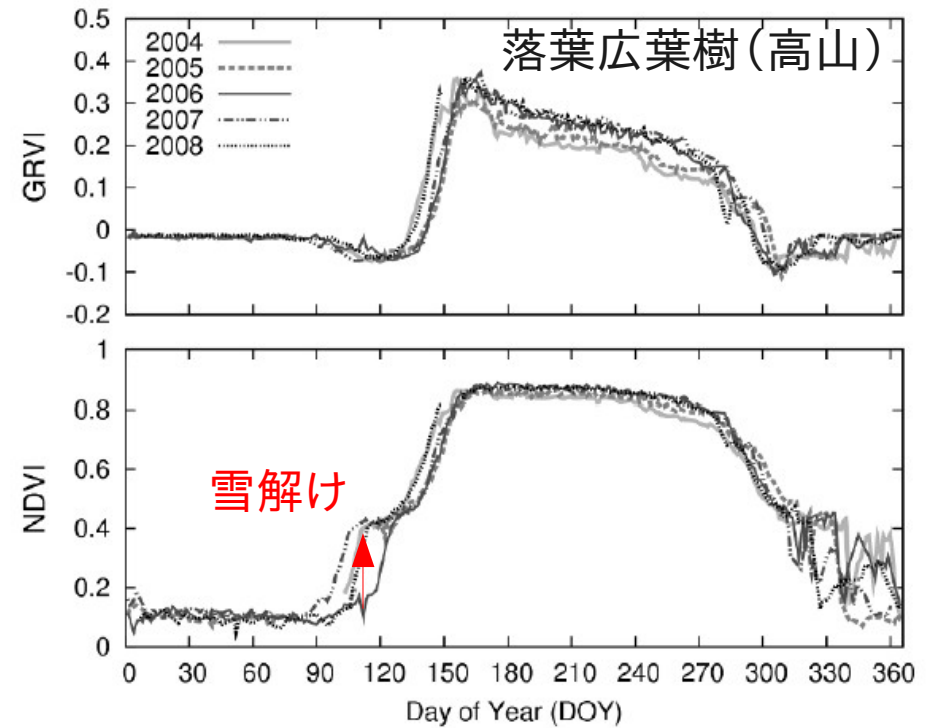
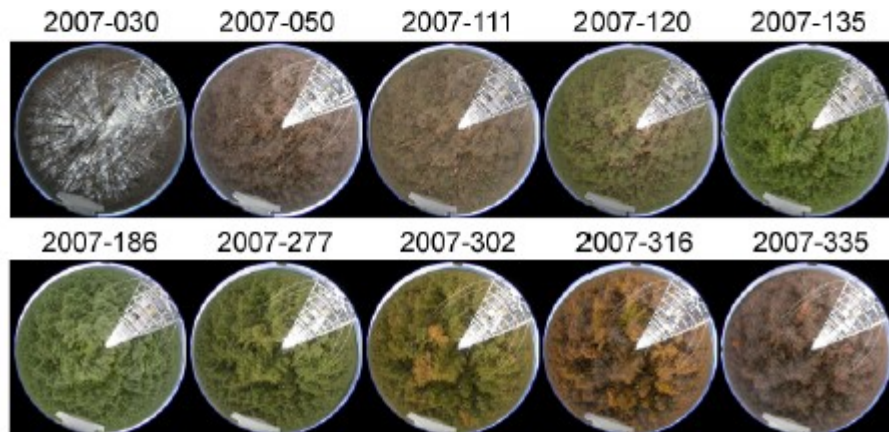
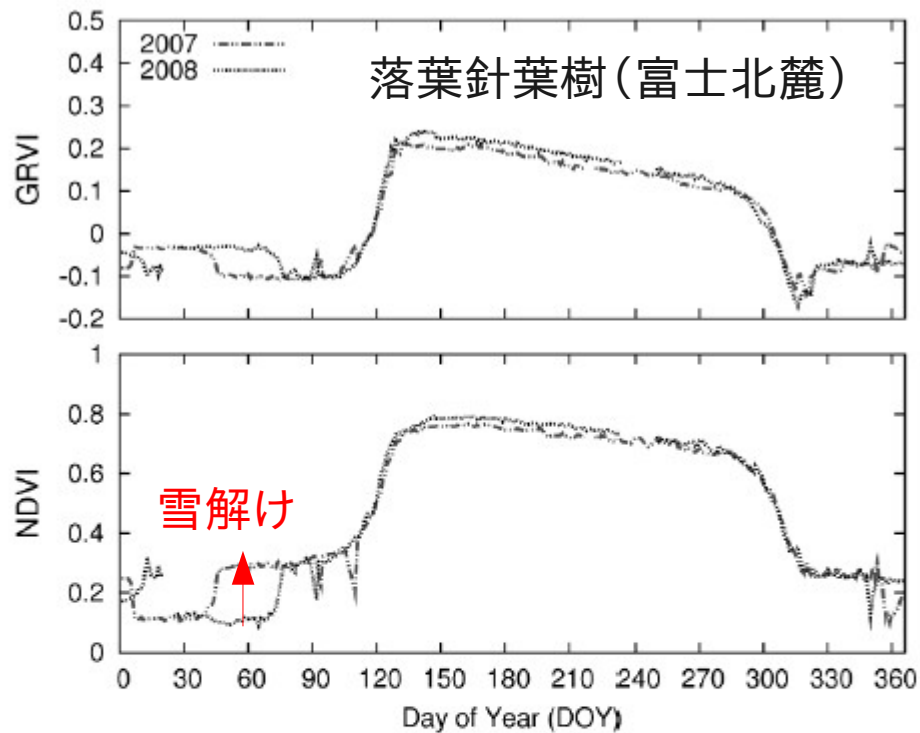
春の展葉はどうすればうまく検出できるか？



それを解消する指標を提案
(Motohka et al., 2010)

$$\text{GRVI} = \frac{\text{green} - \text{red}}{\text{green} + \text{red}}$$

leaf flush



緑を使う指標 (GRVIなど) は擾乱研究にも有用

台風による倒木被害の
検出 (苫小牧, 2004年)

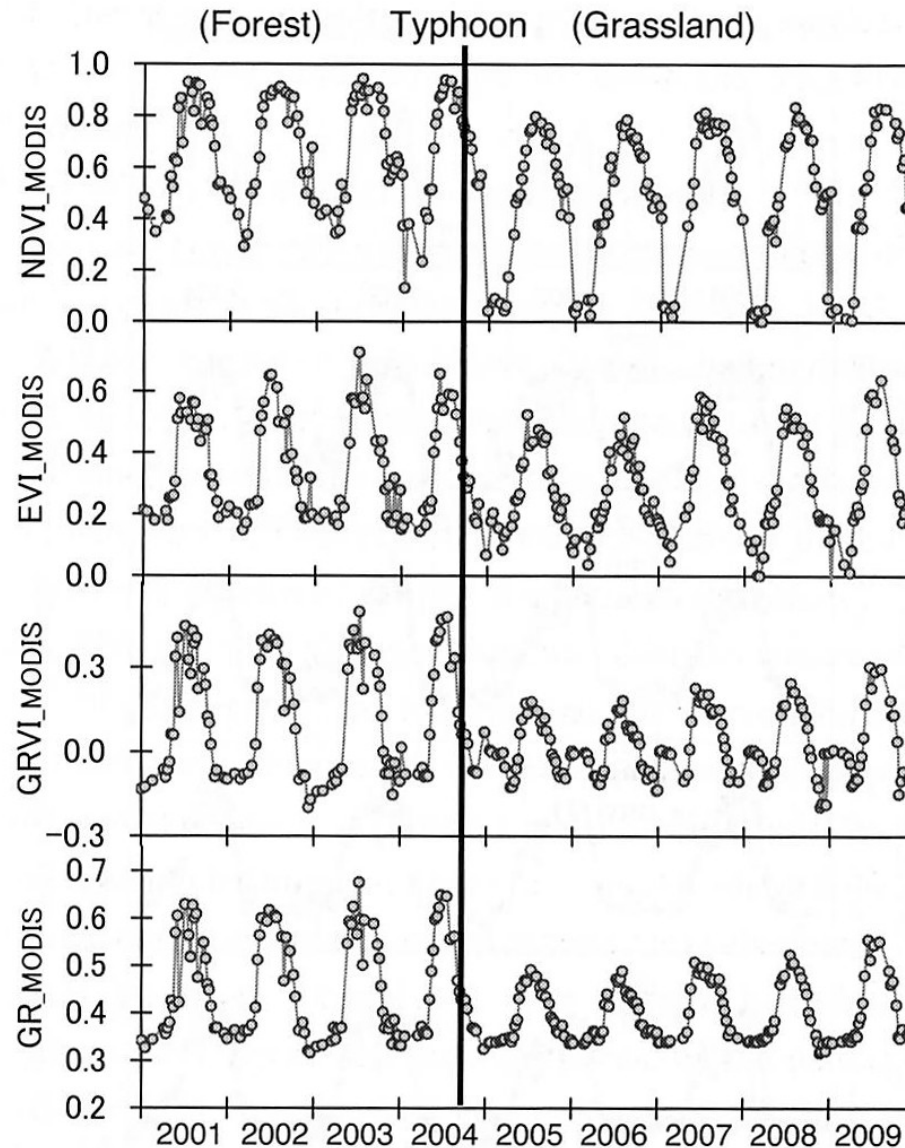
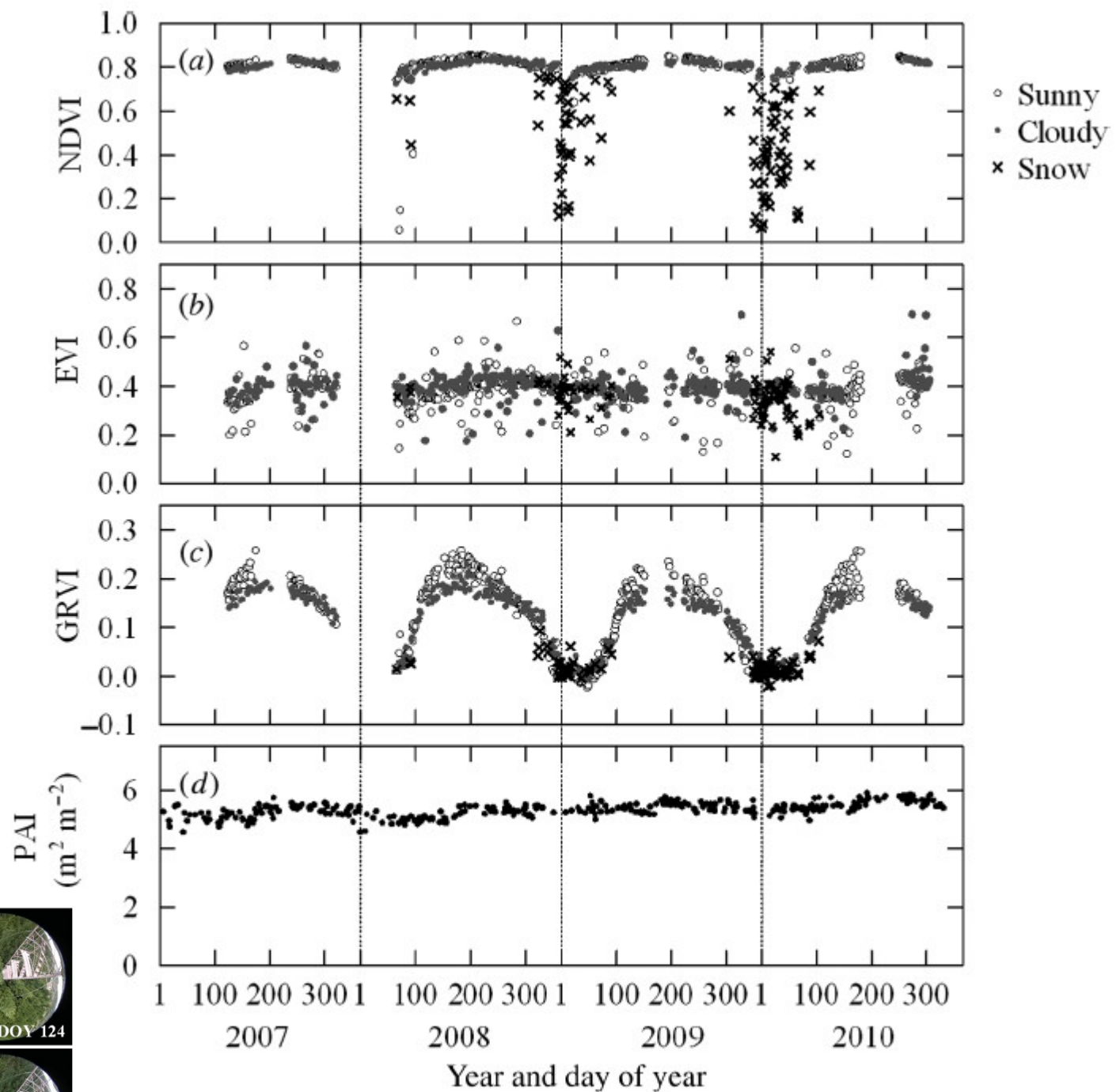
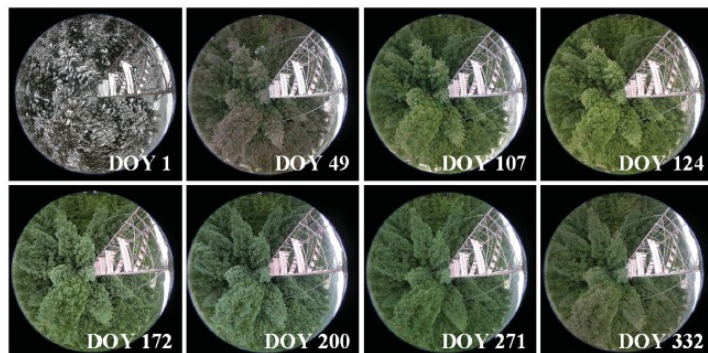


Fig. 5. Seasonal variations of satellite-based NDVI, EVI, GRVI, and GR before and after the disturbance.

GRVIは常緑林の
フェノロジーも
検出可能

Nagai et al., 2012



2. Time series of *in situ* daily values of (a) NDVI, (b) EVI, (c) GRVI and (d) PAI from 2007 to November 2010.

分光植生指標とフラックスの対応

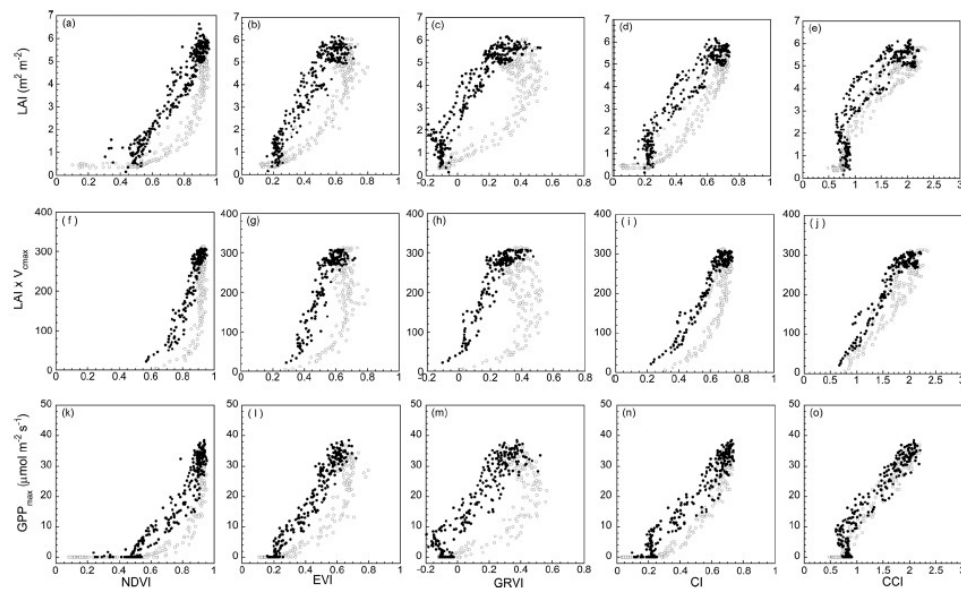
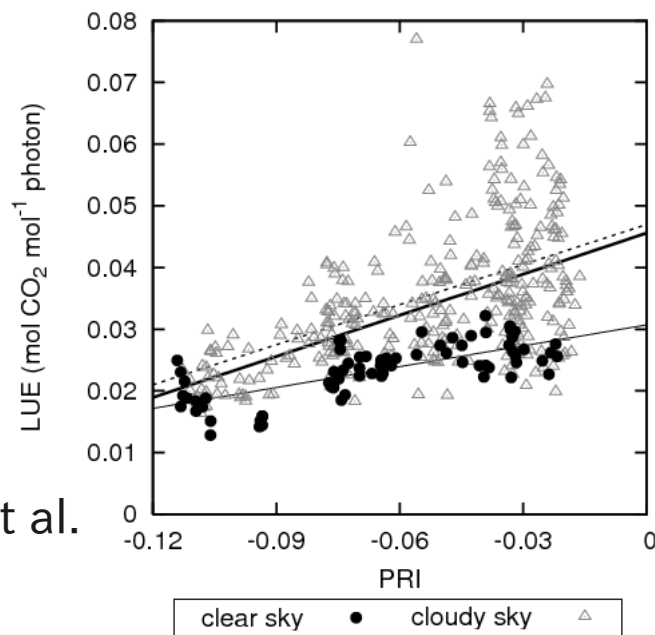
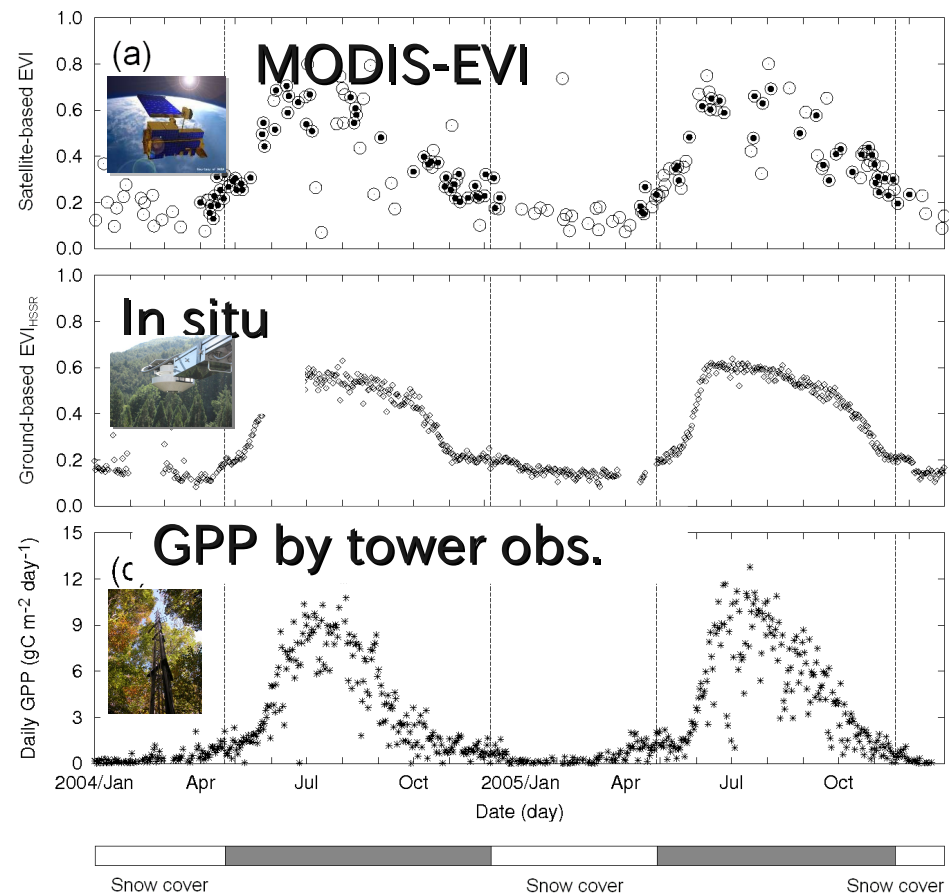


Figure 5: relationships between the five vegetation indices (NDVI, EVI, GRVI, CI and CCI) and parameters of canopy photosynthetic capacity (LAI, $LAI \times V_{max}$ and GPP_{max}) over the seasons from 2004 to 2009 [2007 is not included for ($LAI \times V_{max}$)]. Data were divided to two phenological seasons: from early spring to midsummer (first phase, open circles) and from midsummer to early winter (second phase, solid circles).



Motohka et al.

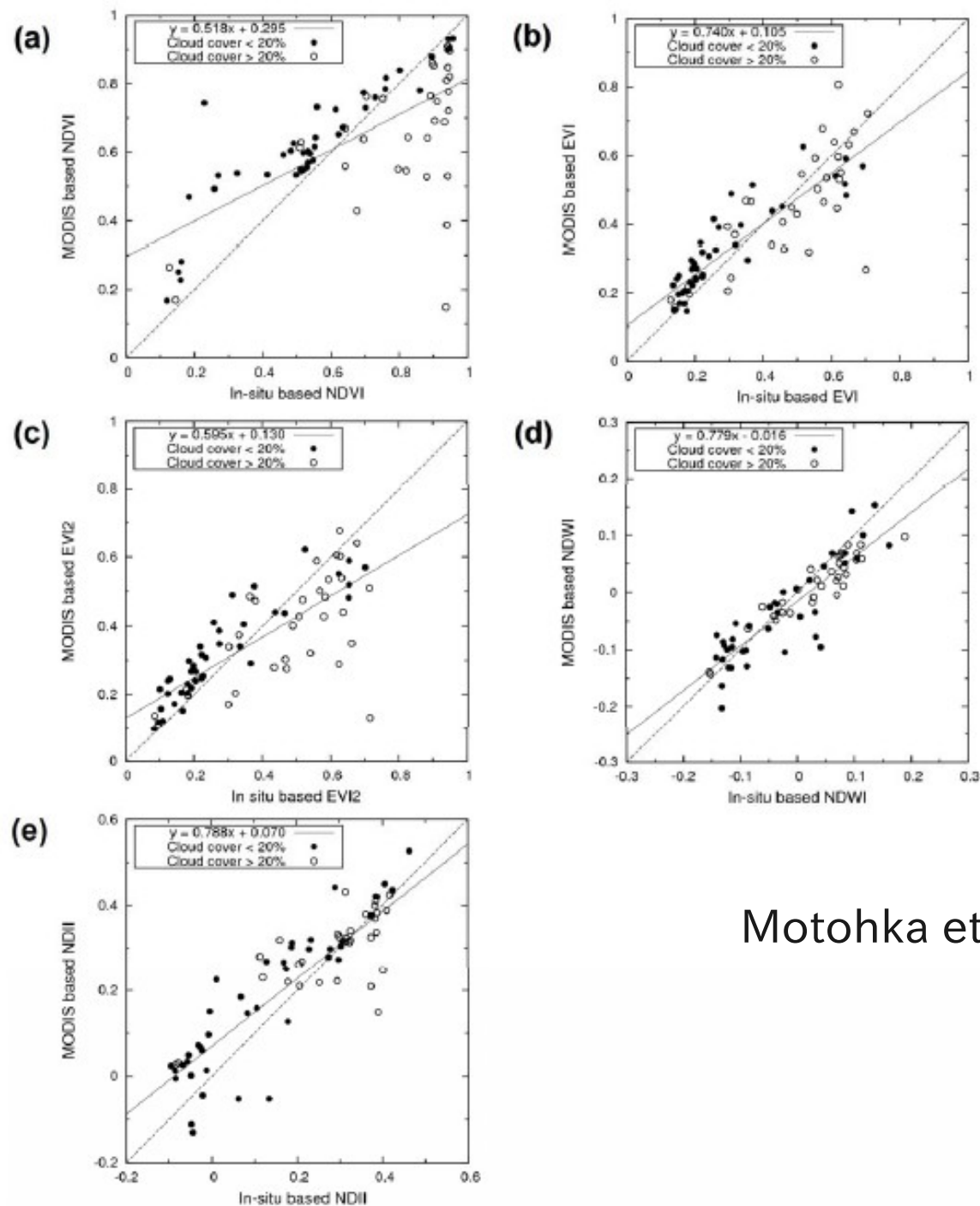
Muraoka et al. (2012)



Nagai et al. (2010)

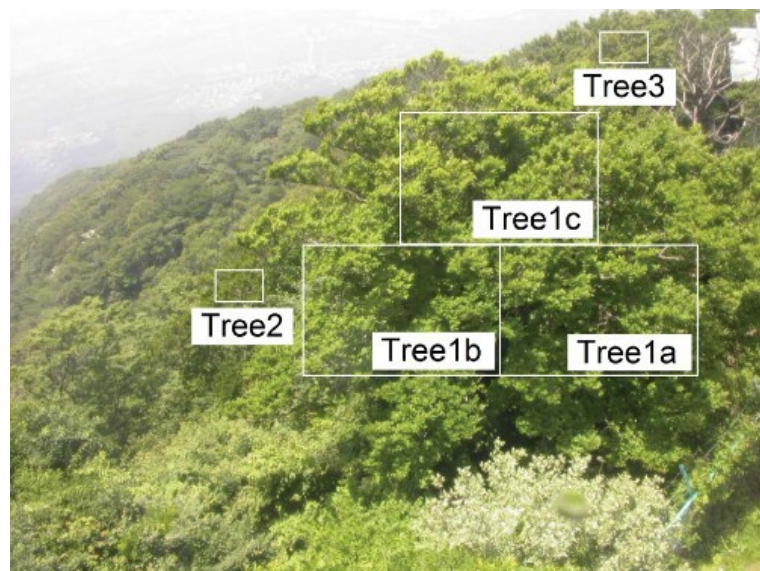
○ EVI_{QC} • EVI_{QC}+ADFC ◇ EVI_{HSSR} * GPP

衛星観測と地上観測がどのくらい対応しているか？ (どの指標が大気ノイズに強いか？)



Motohka et al., 2011

カメラそのものを分光計として フェノロジー検出



Mizunuma et al., 2011

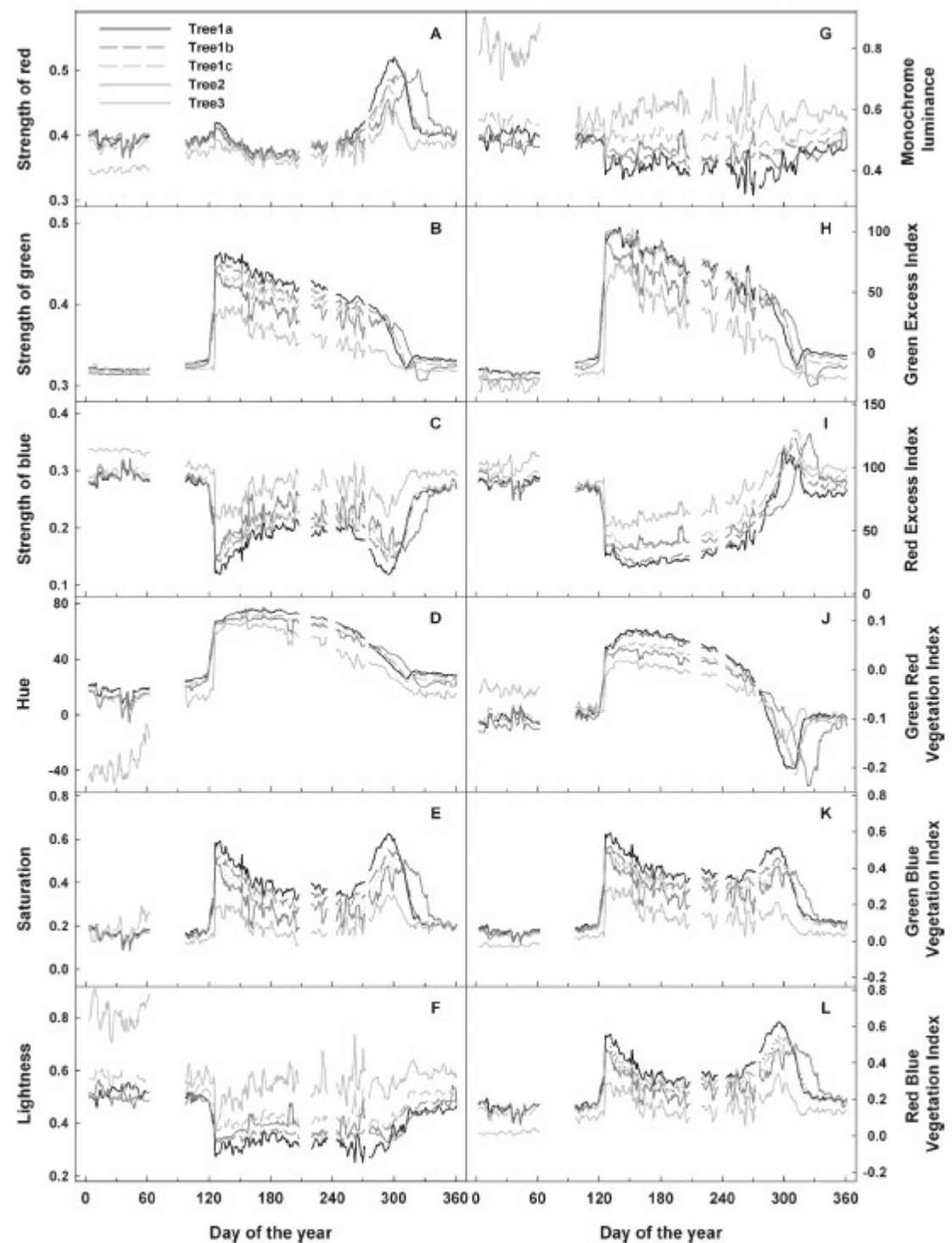
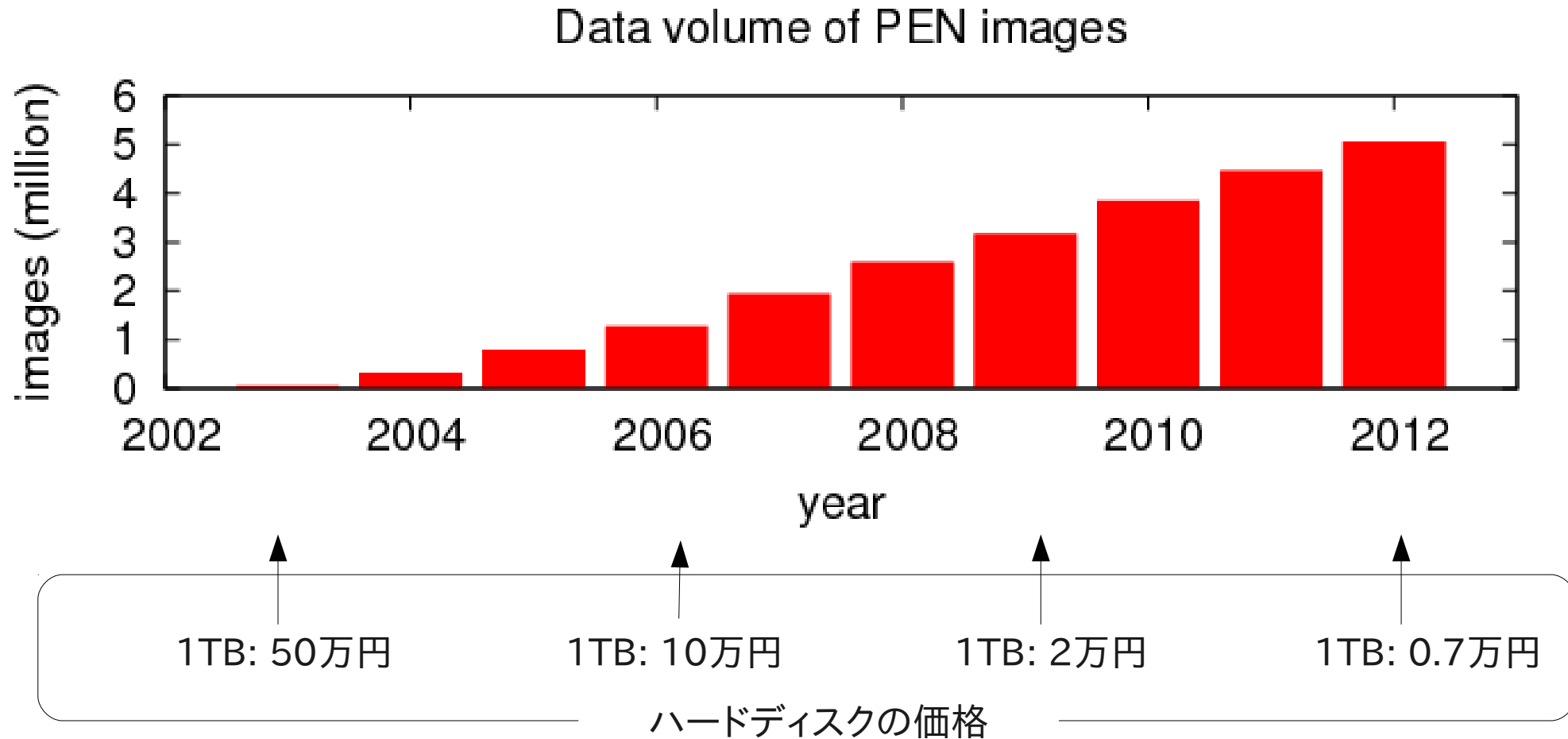


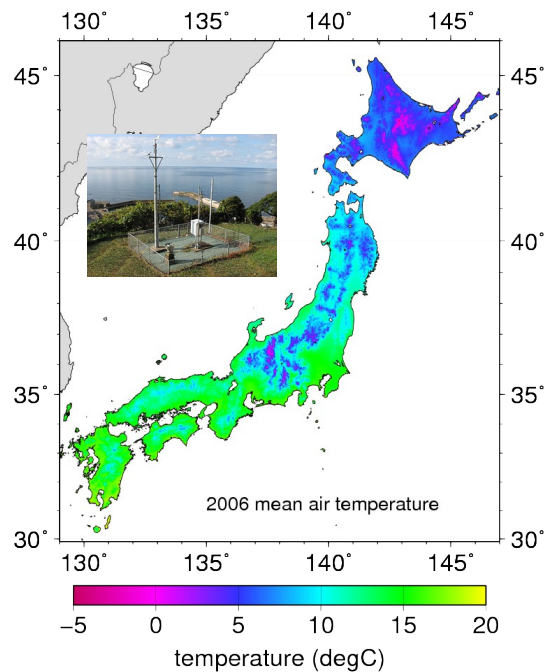
Figure 4. Seasonal variations in the colour indices calculated (listed in Table 1) in 2008 for all regions of interest extracted from images under high-radiation conditions. Hue values over 180° were converted into negative from 0° (e.g. 350° → -10°).

PENデータの成長

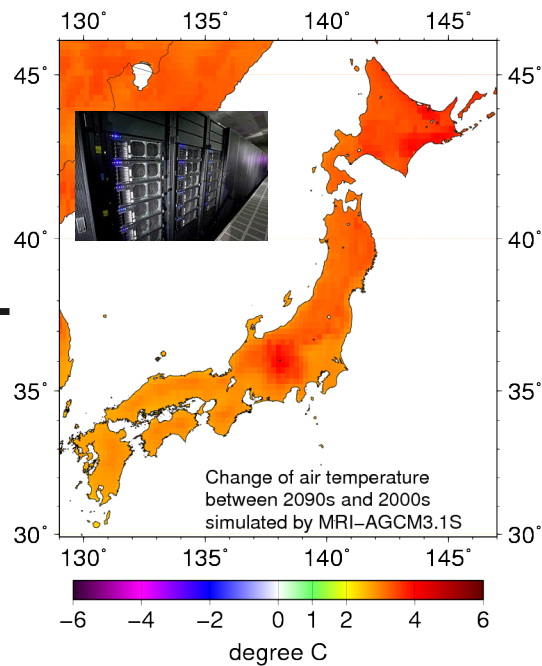


初期の頃はディスクが足りなくて困っていた。最近は楽。

500万枚の画像をどのように解析するか? --> 一種のbig data 解析!

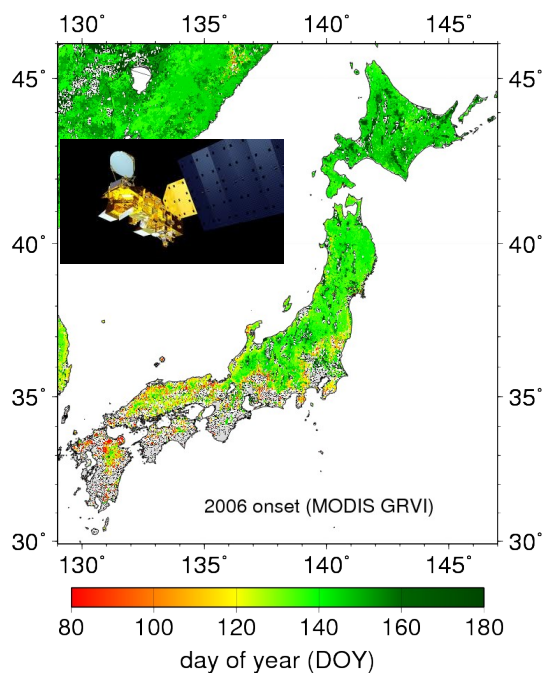


+



将来の
高分解能気温分布予測

+



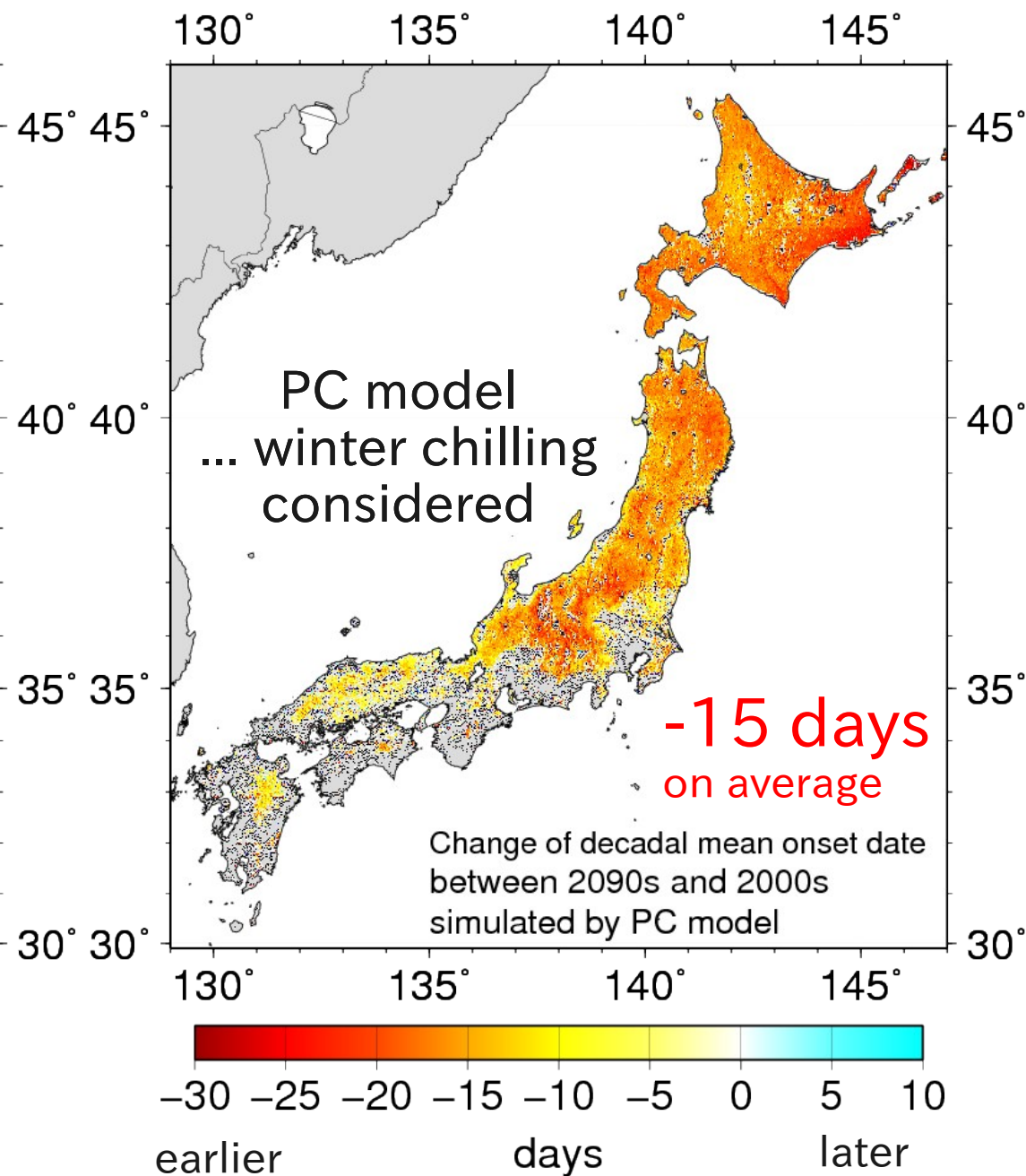
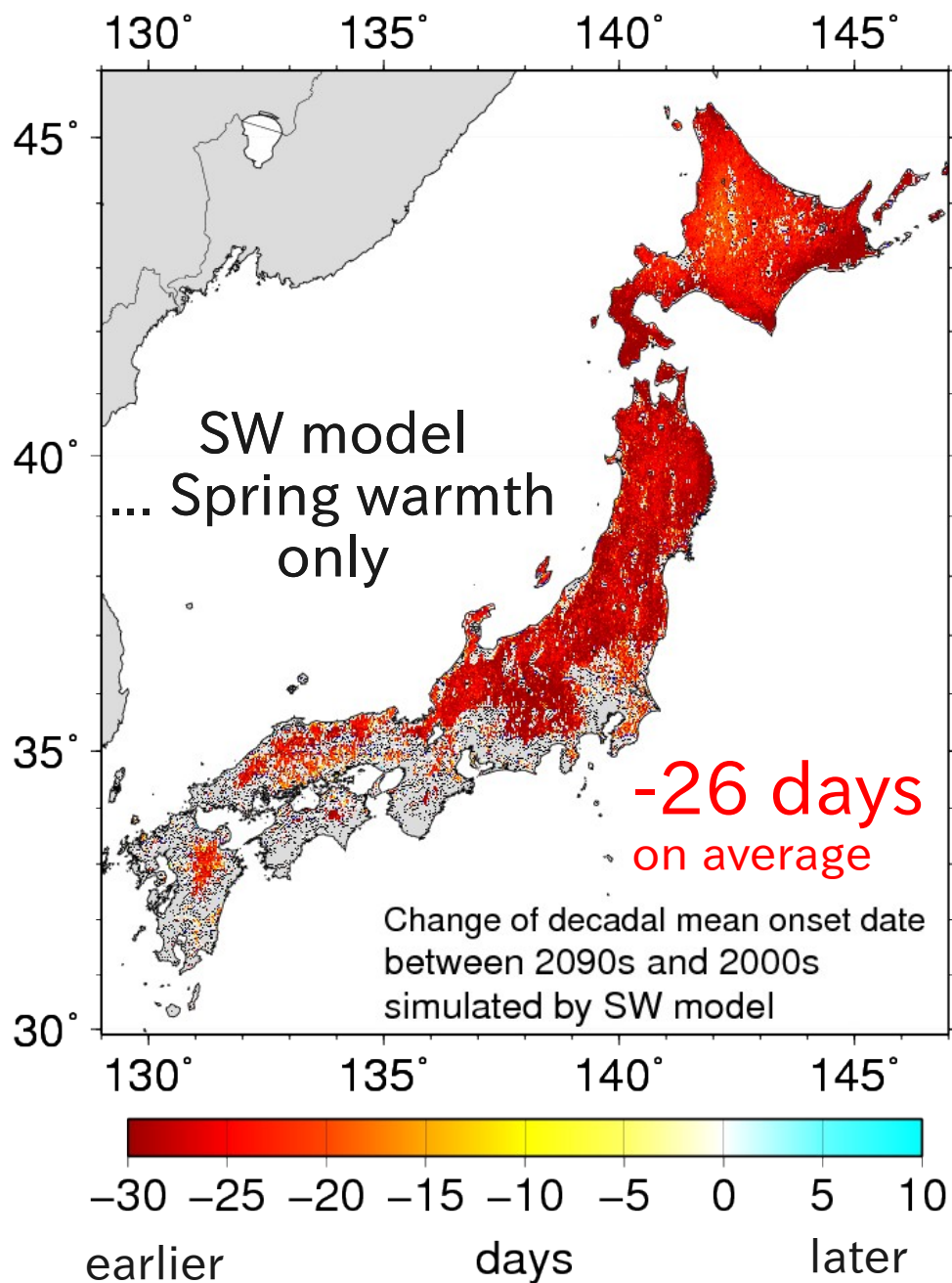
→ フェノロジー予測モデル →

将来の展葉分布予測



Hadano, M., Nasahara, K.N., Motohka, T., Noda, H., Murakami, K., Hosaka, M. (2013) High-resolution prediction of leaf onset date in Japan in the 21st century under the IPCC A1B scenario. Ecology and Evolution. doi:10.1002/ece3.575

Prediction in 2090s



まとめ

PENは今年で10年!

PENは緩いネットワーク。運営委員会とか規約とかはまだ無い。

PENには多くの人が「やれる範囲」で貢献してきた。

PENはできるだけデータをオープンにしてきた。

PENは2003年時点では世界に先行していた。

PENに似たようなネットワークは欧米にも立ち上がっている。

PENはそれらにカメラ網では既に負けている。

しかし、ハーパースペクトルの分光連続観測と、スカイラジオメータとの組み合わせはまだ勝てるチャンスがある!

人材が大切。いろいろあっても、やめないことが大切。