



森林炭素モニタリングに向けた 陸域生態系観測ネットワークの 役割

三枝 信子

国立環境研究所 地球環境研究センター
陸域モニタリング推進室

(AsiaFlux Tsukuba Branch Office)





内 容

1. 森林における二酸化炭素収支の観測研究
2. アジアにおける観測ネットワーク: AsiaFlux
および CarboEastAsia の活動
3. 森林炭素広域モニタリングに向けた取組



内 容

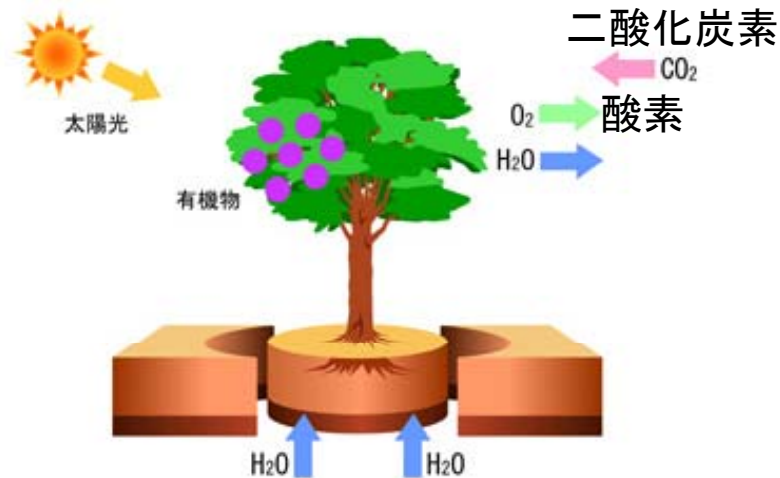
1. 森林における二酸化炭素収支の観測研究
2. アジアにおける観測ネットワーク: AsiaFlux
および CarboEastAsia の活動
3. 森林炭素広域モニタリングに向けた取組

1. 森林における二酸化炭素収支の観測研究

森林はCO₂を吸収したり放出したりします

(昼間)

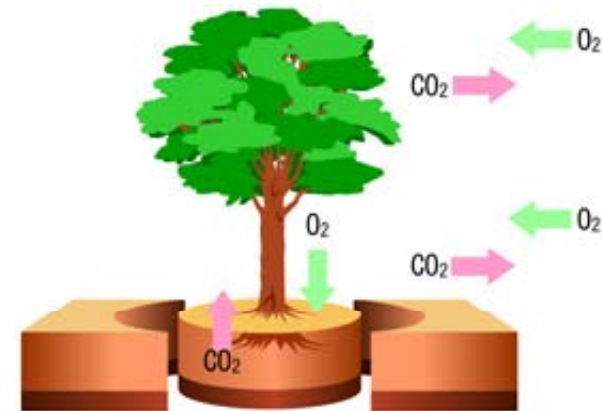
森林は光合成により
CO₂を吸収します。



© 2006, (独)国立環境研究所

(昼間も夜間も)

植物や土壌にすむ微生物は呼吸
により CO₂ を放出します。



© 2006, (独)国立環境研究所



1. 森林における二酸化炭素収支の観測研究

森林はCO₂を吸収したり放出したりします

(昼間)

森林は光合成により
CO₂を吸収します。

(昼間も夜間も)

植物や土壌にすむ微生物は呼吸
により CO₂を放出します。



正味の二酸化炭素吸収量 = 総光合成量 - 総呼吸量

森林のCO₂収支の測定法

従来の方法

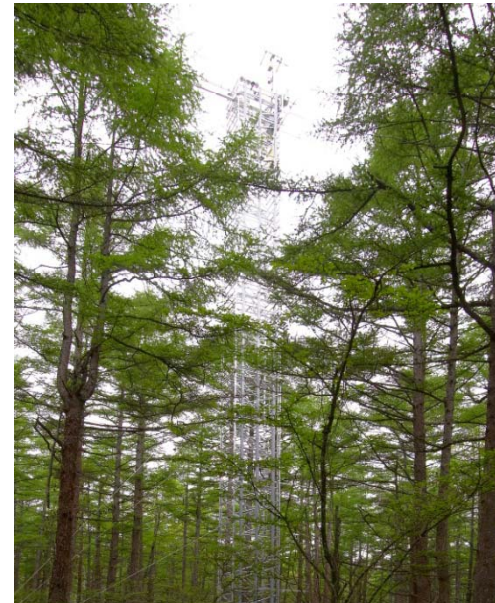
毎木調査に基づく方法



- 幹の直径成長から炭素蓄積量を測定.
- 土壌からのCO₂放出量を差引く.

1990年代中頃から普及

微気象学的方法



- 風速とCO₂濃度からCO₂の輸送量を測定.



森林のCO₂収支の測定法

従来の方法

毎木調査に基づく方法



1～数年に算出



長期積算値が正確

1990年代中頃から普及

微気象学的方法



30～60分毎に算出



変動解析が可能

同時に実施すれば長期・短期の変動を
精度よく検出することができます。



微気象学的方法による陸域の CO₂収支モニタリングの歴史

- 1990年ころ Harvard Forest でCO₂収支モニタリング開始
- 1993年9月 産総研、岐阜県でCO₂収支モニタリング開始



微気象学的方法による陸域の CO₂収支モニタリングの歴史

- | | |
|---------|---|
| 1990年ころ | Harvard Forest でCO ₂ 収支モニタリング開始 |
| 1993年9月 | 産総研、岐阜県でCO ₂ 収支モニタリング開始 |
| 1996年 | FLUXNET, EOROFUX 開始(渦相関法) (※フラックス: 単位時間・単位面積当たりの輸送量) |
| 1997年 | AmeriFlux 開始 京都議定書、気候変動COP3 にて議決 |
| 1999年 | AsiaFlux 開始 |



微気象学的方法による陸域の CO₂収支モニタリングの歴史

| | |
|---------|--|
| 1990年ころ | Harvard Forest でCO ₂ 収支モニタリング開始 |
| 1993年9月 | 産総研、岐阜県でCO ₂ 収支モニタリング開始 |
| 1996年 | FLUXNET, EOROFUX 開始(渦相関法) (※フラックス:単位時間・単位面積当たりの輸送量) |
| 1997年 | AmeriFlux 開始 京都議定書、気候変動COP3にて議決 |
| 1999年 | AsiaFlux 開始 |
| 2007年 | 世界250地点余のデータベース完成 |
| ~2010年 | AsiaFlux 74地点、世界 400地点以上(推定) で観測継続中 |



渦相関法の主要測器



超音波風速計: 上下・水平
方向の風速をはかる

赤外分析計:
CO₂濃度をはかる

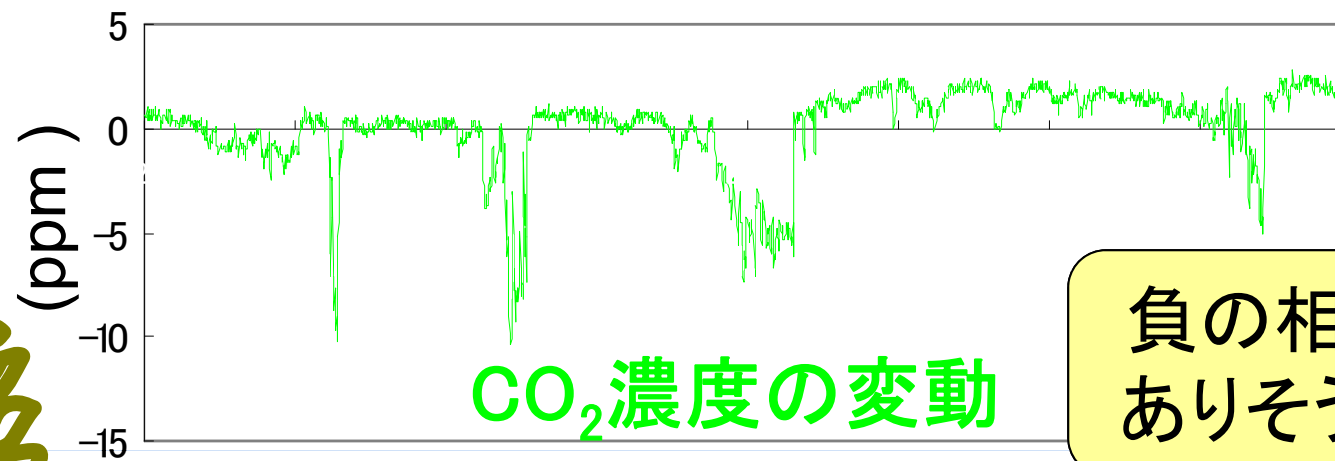
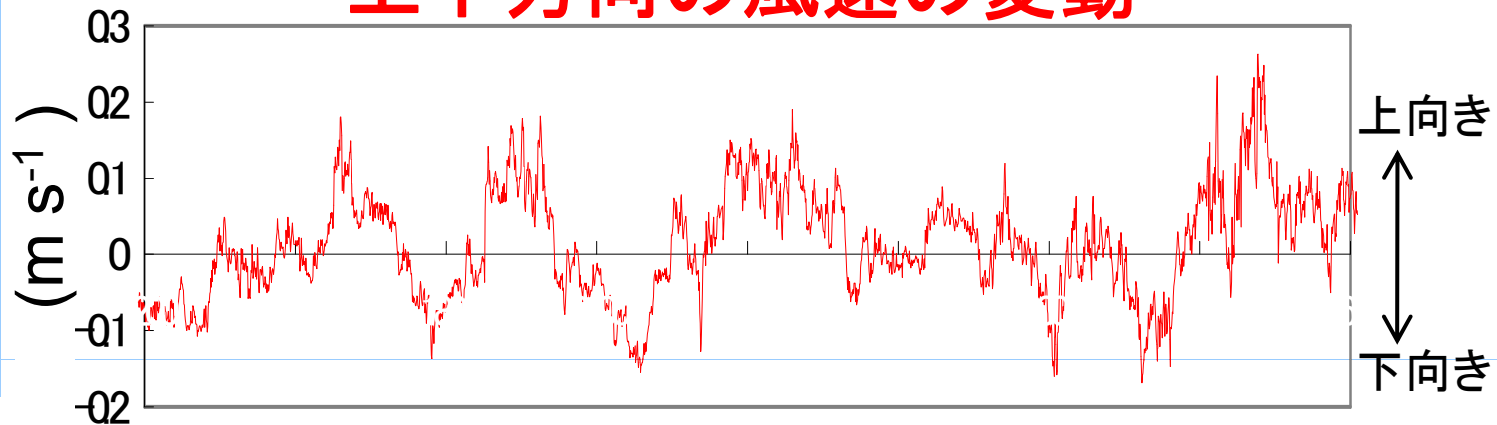


上下方向の風速と
CO₂濃度を毎秒
10回測定します.

渦相関法の測定原理

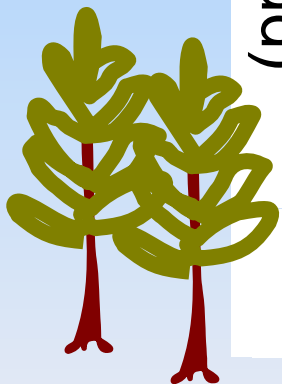
夏の日中に森林上で観測された風速とCO₂濃度の例

上下方向の風速の変動



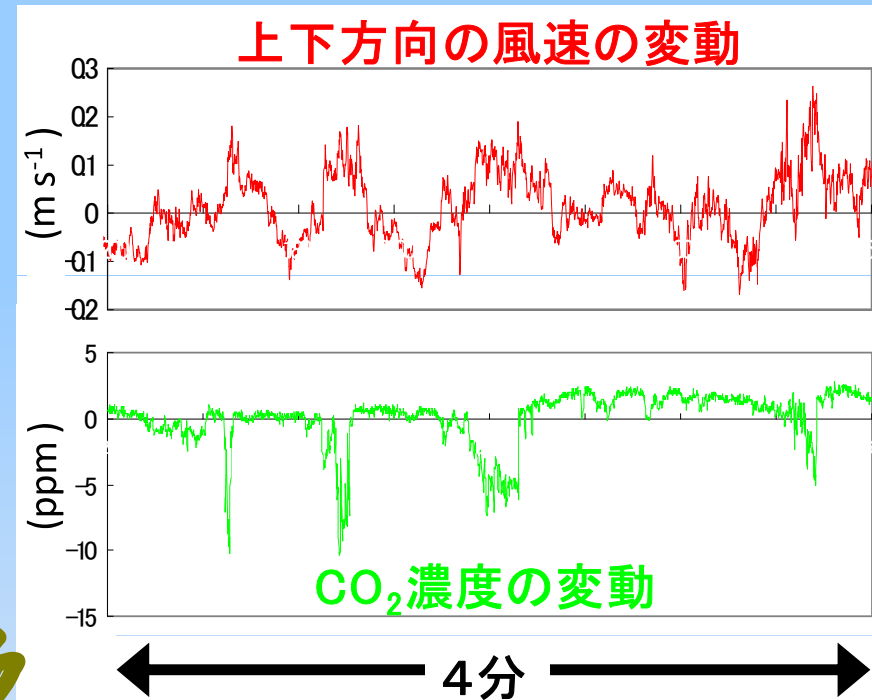
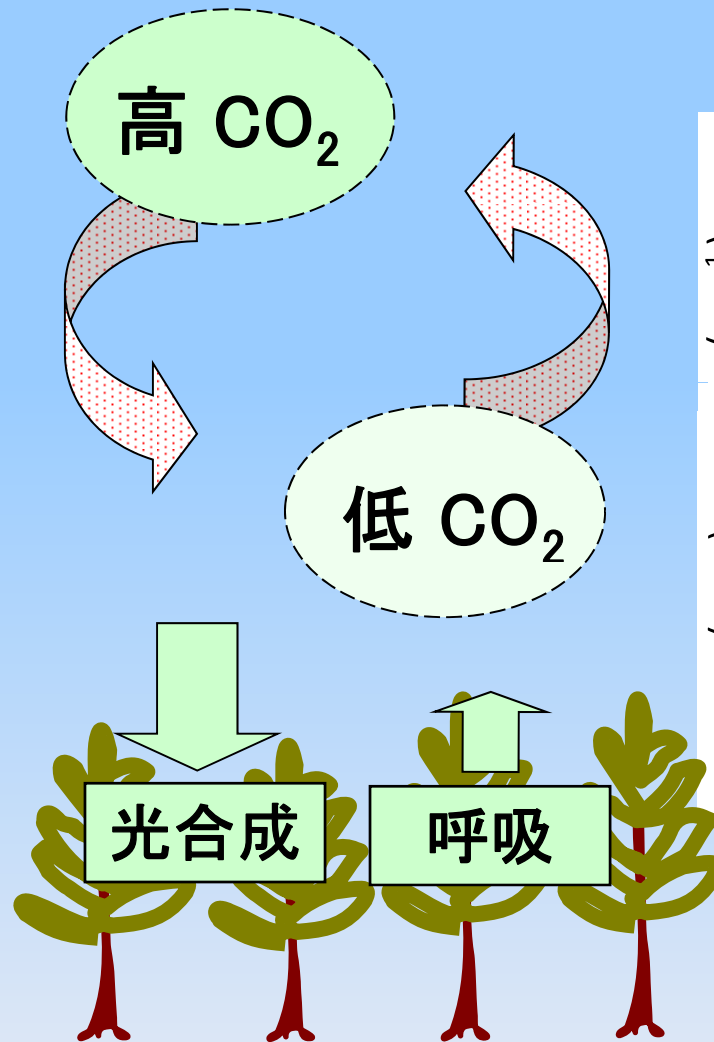
負の相関が
ありそうです

4分



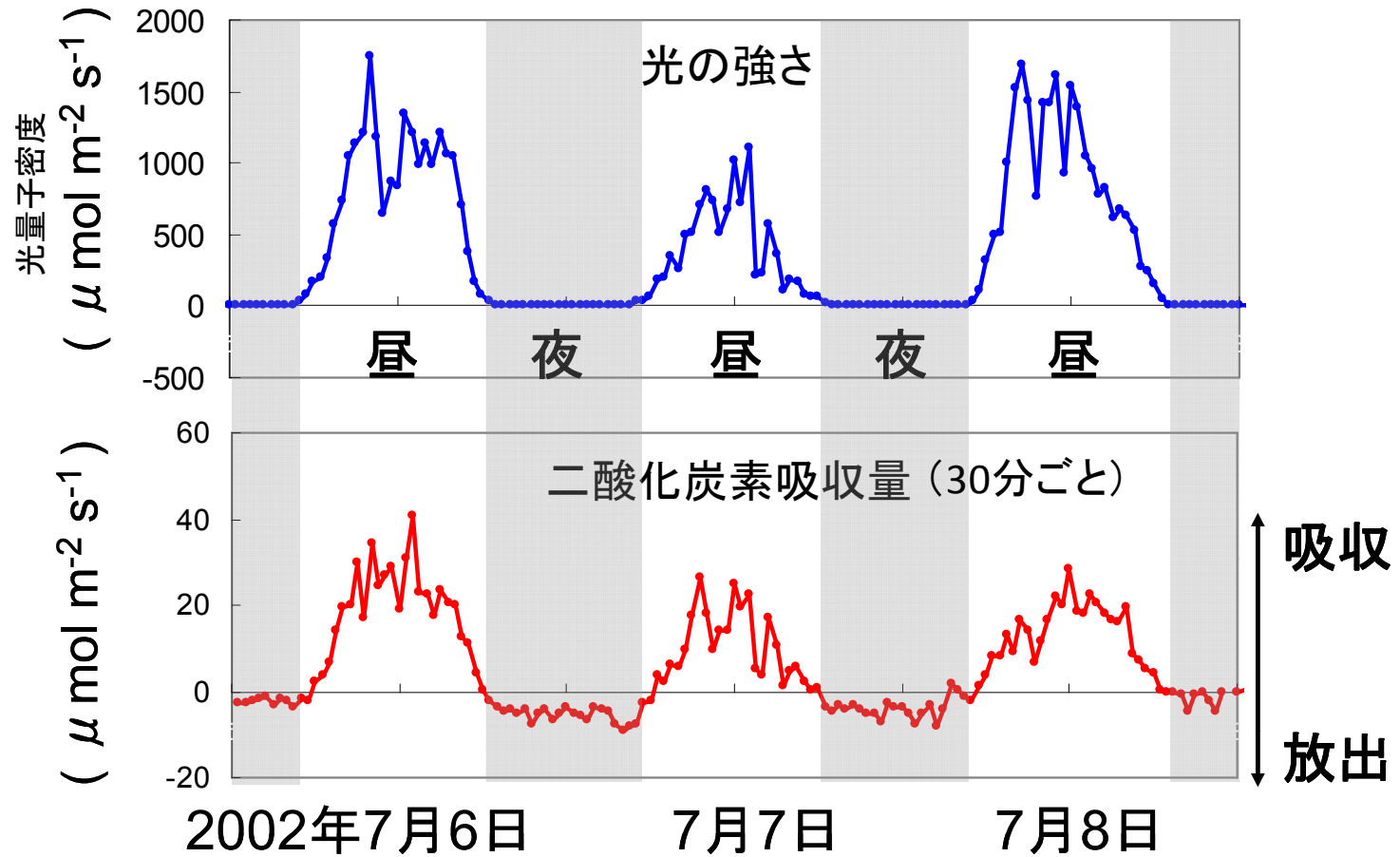
渦相関法の測定原理

風速と濃度：負の相関
→CO₂下向き輸送

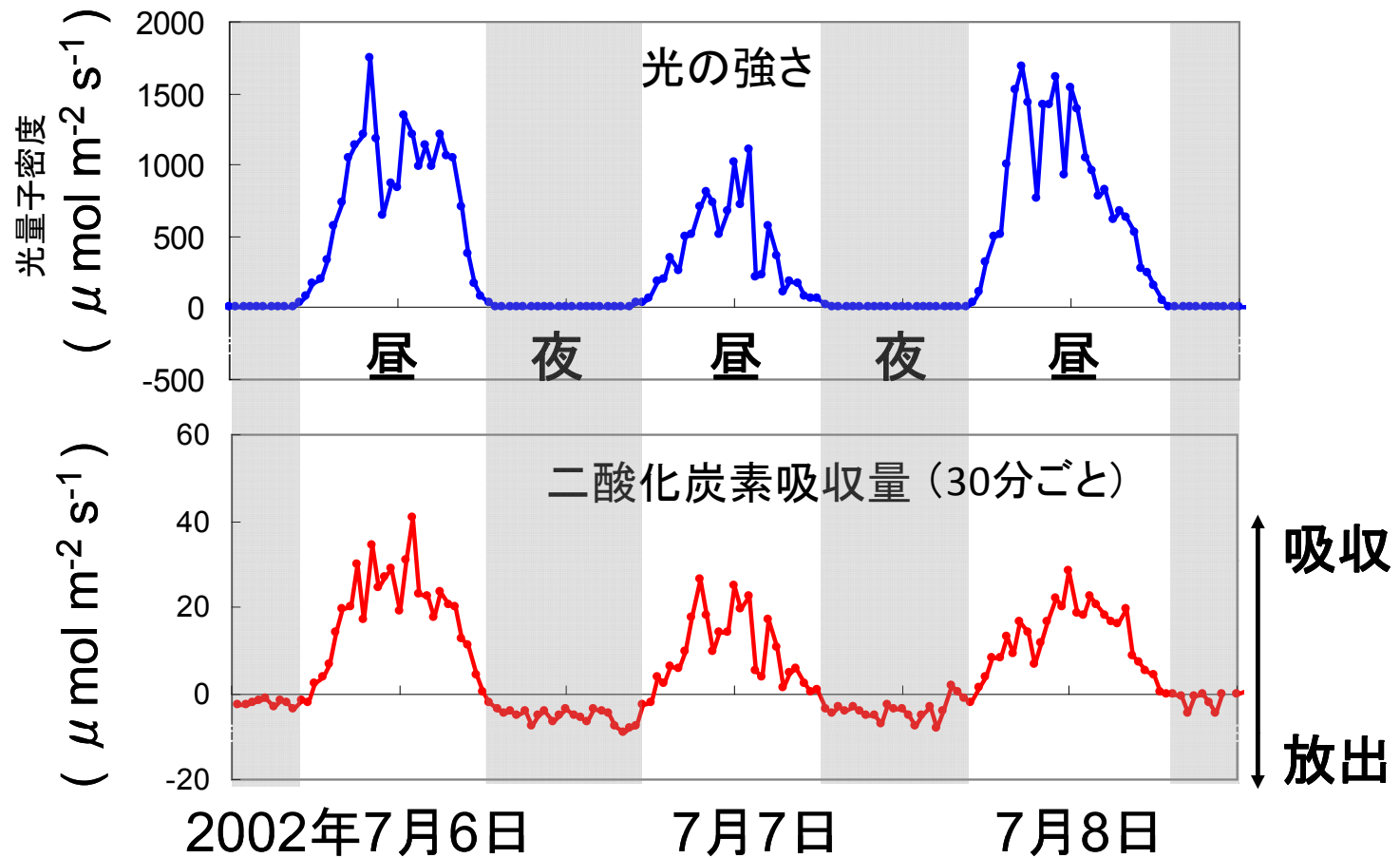


風速と濃度の相関関係から
CO₂輸送量を計算できます。

森林のCO₂収支の測定例：日変化

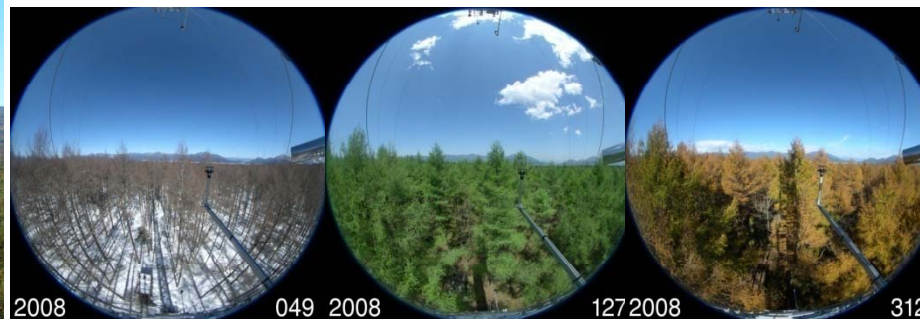


森林のCO₂収支の測定例：日変化

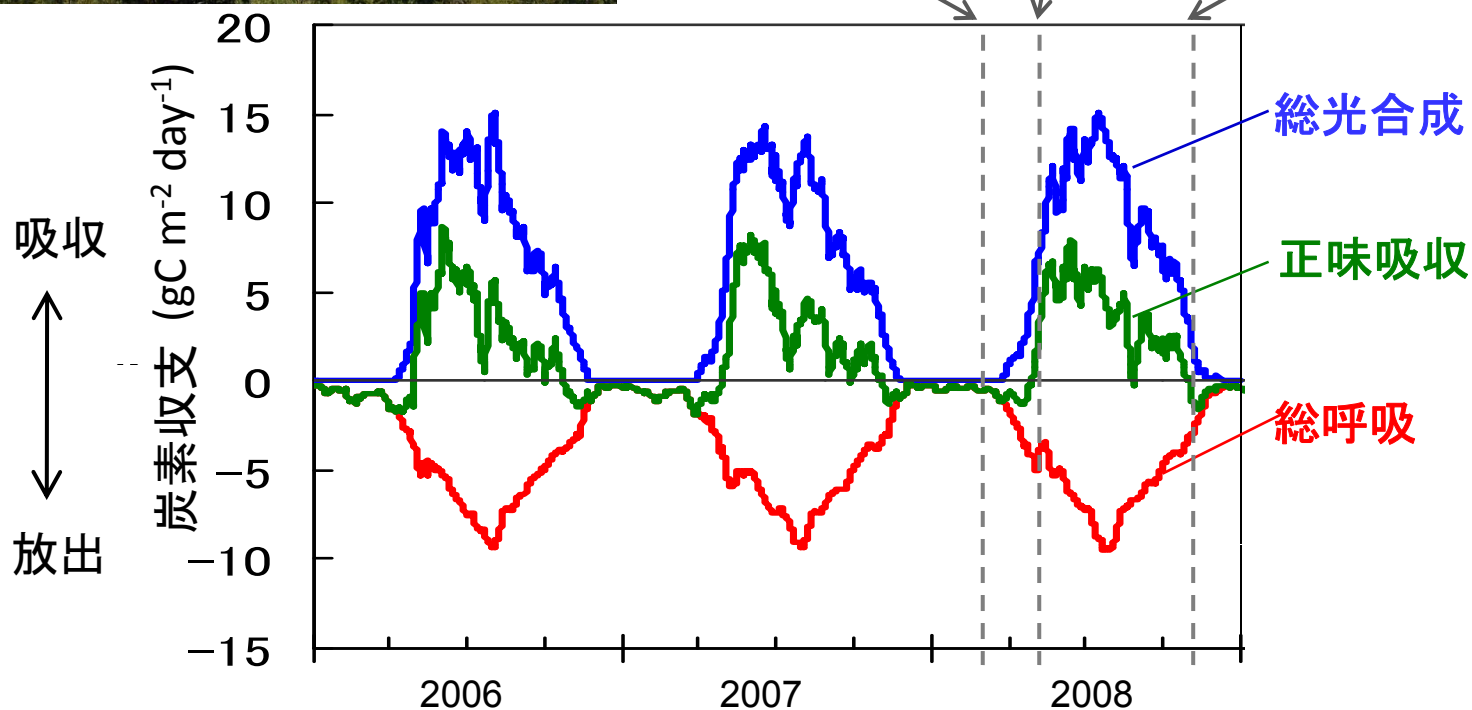


昼は吸収(光合成>呼吸)、夜は放出(呼吸のみ).

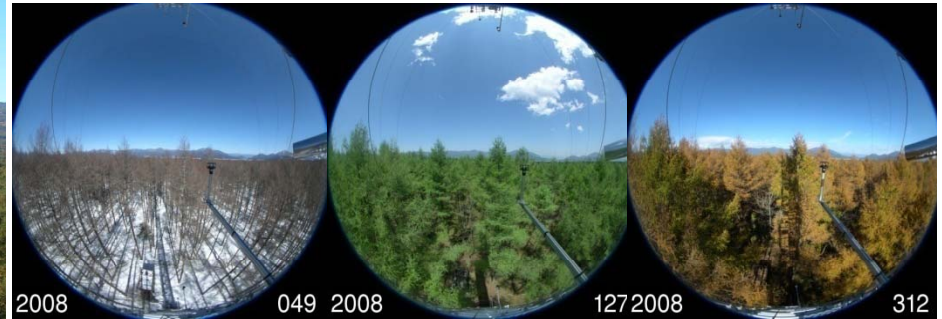
森林のCO₂収支の測定例：季節変化



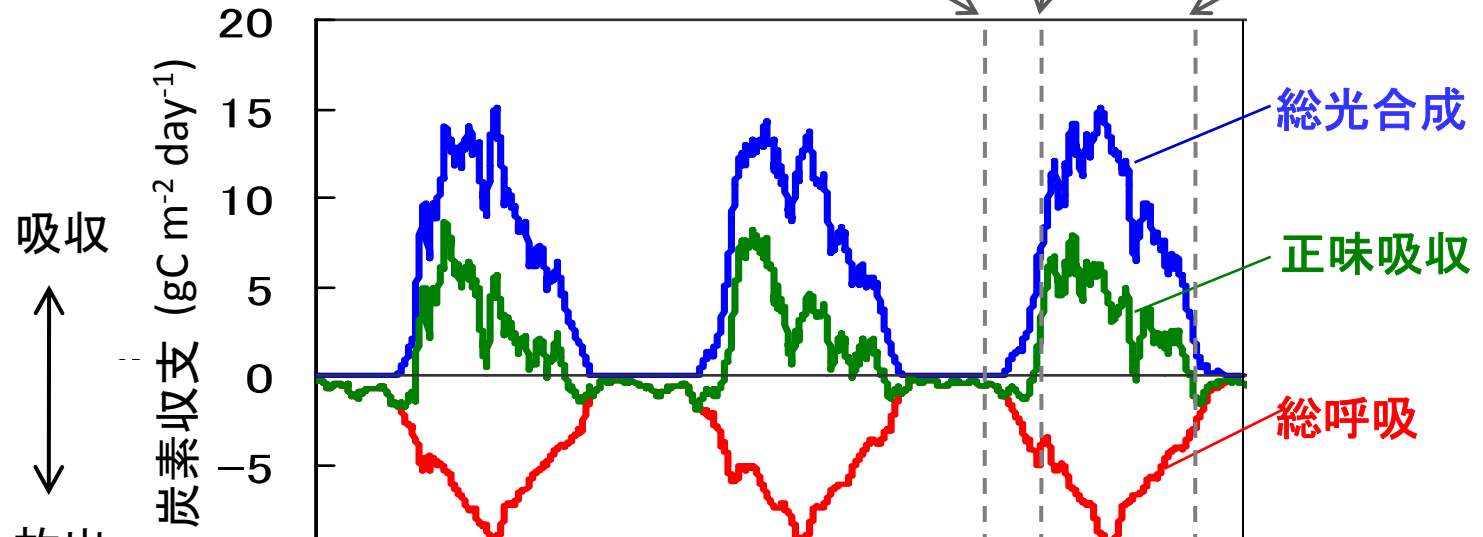
冬季(2/18) 展葉期(5/6) 落葉期(11/7)



森林のCO₂収支の測定例：季節変化



冬季(2/18) 展葉期(5/6) 落葉期(11/7)



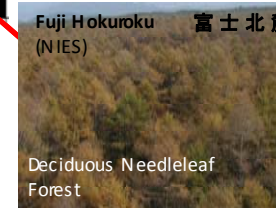
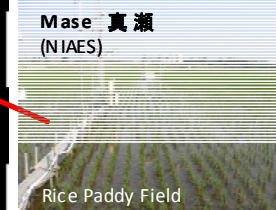
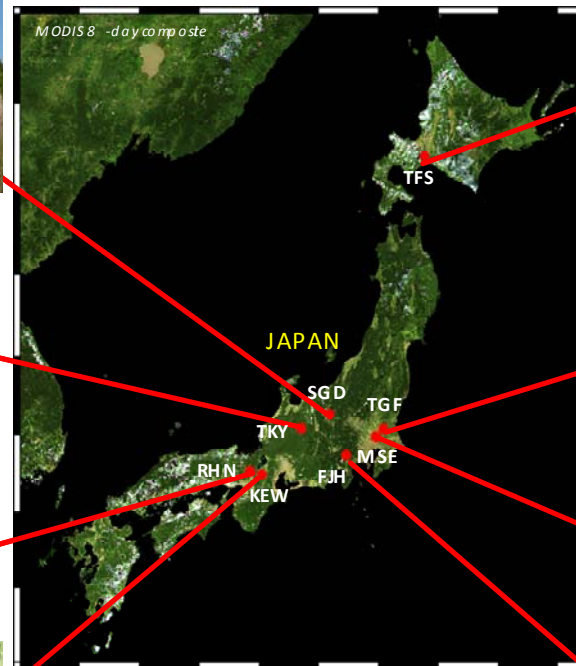
展葉・落葉等の生物季節(フェノロジー)が重要です

森林のCO₂収支の測定例: 季節変化

Phenological Eyes Network (PEN)

植生の分光特性・大気状態(エアロゾル等)を、分光反射計・カメラ画像等でモニタリングし、植物季節を把握して衛星データの高度な検証を行う。

PEN Sites



Most of the PEN sites are located at the AsiaFlux sites. AsiaFlux is a monitoring network of carbon, water and energy fluxes between ecosystems and the atmosphere.

* TFS and RHN stopped operation in September, 2004 and February 2006, respectively.

(国内外に22観測点, 増加中)

<http://pen.agbi.tsukuba.ac.jp/>

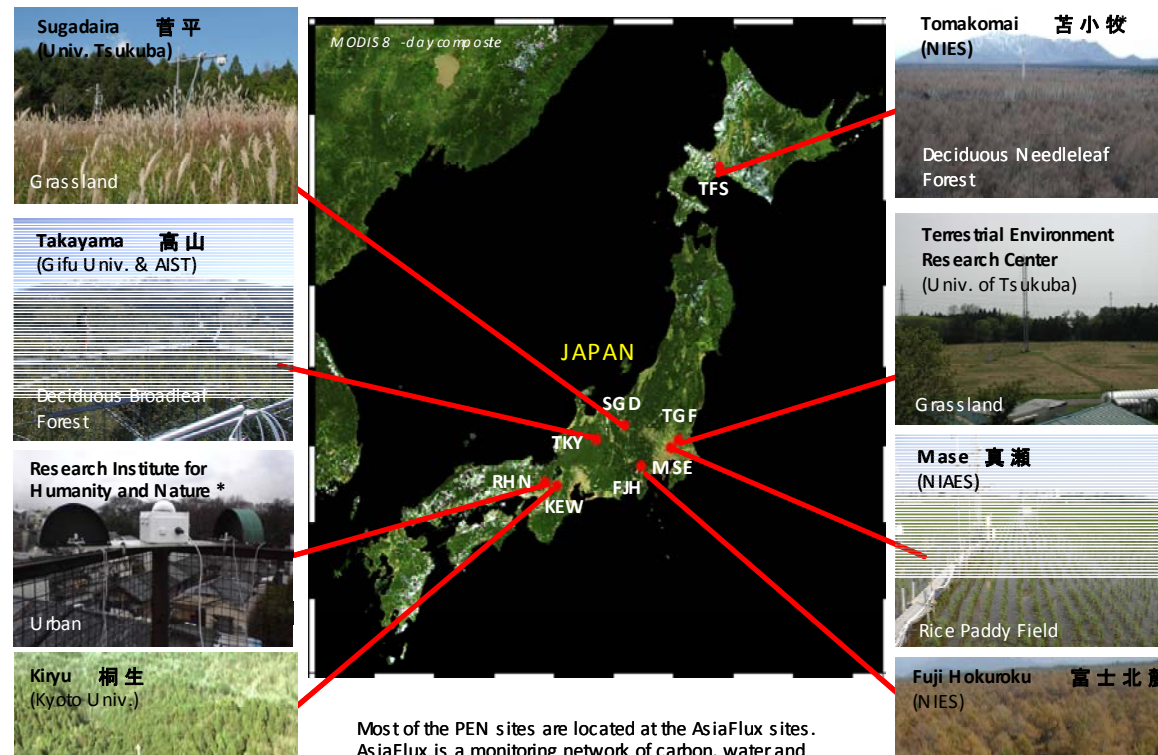


森林のCO₂収支の測定例: 季節変化

Phenological Eyes Network (PEN)

植生の分光特性・大気状態(エアロゾル等)を、分光反射計・カメラ画像等でモニタリングし、植物季節を把握して衛星データの高度な検証を行う。

PEN Sites



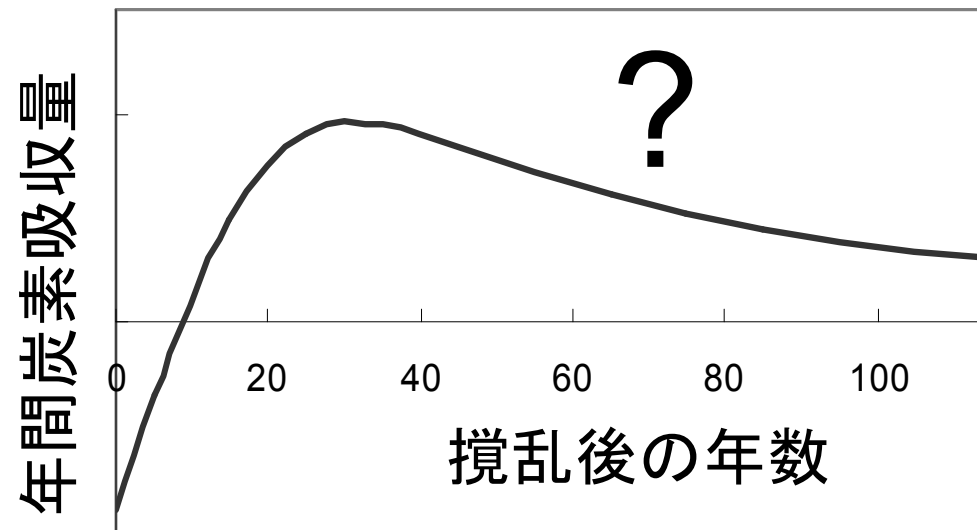
フラックスサイトでのフェノロジーモニタリングを推進中です

森林のCO₂収支の測定例：経年変化



2001 - 2002
天然の針広
混交林で観
測開始

天然林→伐採→植林・成長に伴う
CO₂収支の変化を求めます。



北大・天塩 CC-LaGサイト：
(産学官連携研究)

- ・北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター
- ・国立環境研究所 地球環境研究センター
- ・北海道電力株式会社 総合研究所

森林のCO₂収支の測定例：経年変化



2001 - 2002
天然の針広
混交林で観
測開始



2003(春～秋)
天然林伐採の
影響を観測

天然林→伐採→植林・成長に伴う
CO₂収支の変化を求めます。

北大・天塩 CC-LaGサイト：
(産学官連携研究)

- ・北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター
- ・国立環境研究所 地球環境研究センター
- ・北海道電力株式会社 総合研究所

森林のCO₂収支の測定例：経年変化



2001 - 2002
天然の針広
混交林で観
測開始

天然林→伐採→植林・成長に伴う
CO₂収支の変化を求めます。



2003(春～秋)
天然林伐採の
影響を観測



2003(晩秋)
カラマツを植林

北大・天塩 CC-LaGサイト：
(産学官連携研究)

- ・北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター
- ・国立環境研究所 地球環境研究センター
- ・北海道電力株式会社 総合研究所

森林のCO₂収支の測定例：経年変化

天然林→伐採→植林・成長に伴う
CO₂収支の変化を求めます。



2001 - 2002
天然の針広
混交林で観
測開始



2003(春～秋)
天然林伐採の
影響を観測



2003(晩秋)
カラマツを植林



2006
樹木成長に伴う変化を観測

北大・天塩 CC-LaGサイト：
(産学官連携研究)

- ・北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター
- ・国立環境研究所 地球環境研究センター
- ・北海道電力株式会社 総合研究所

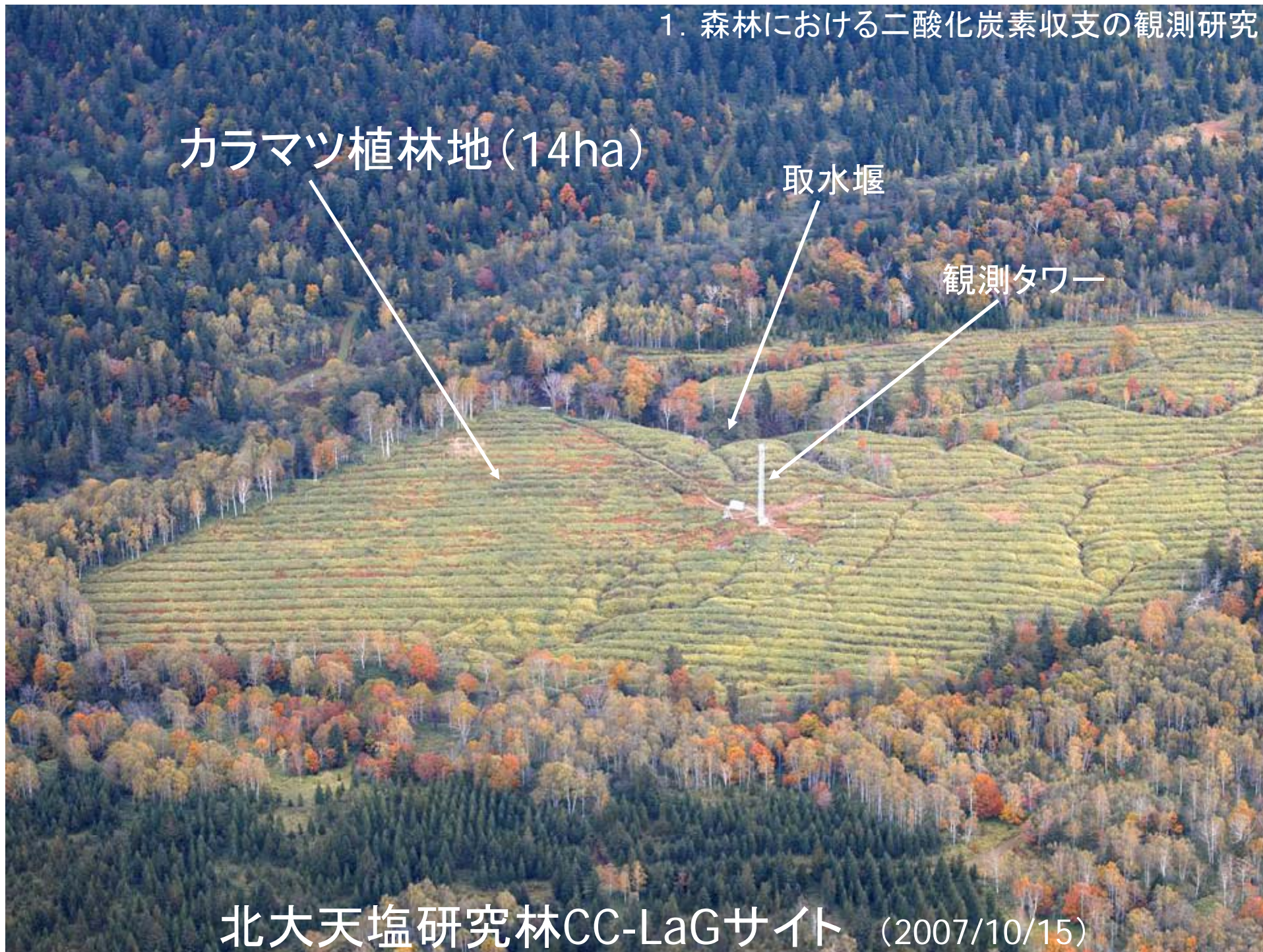
1. 森林における二酸化炭素収支の観測研究

カラマツ植林地(14ha)

取水堰

観測タワー

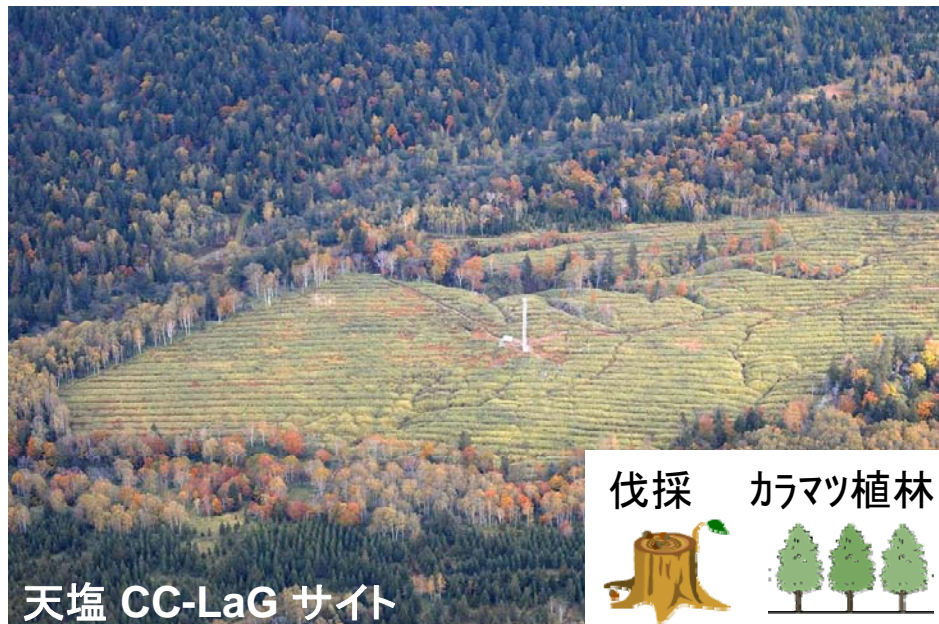
北大天塩研究林CC-LaGサイト (2007/10/15)



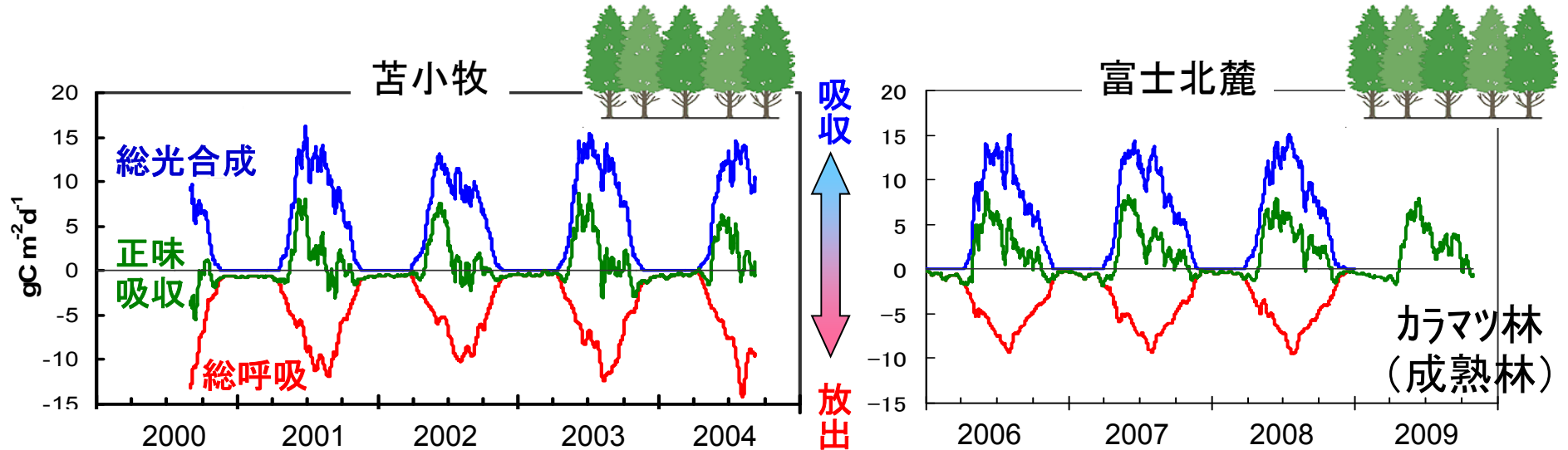
森林のCO₂収支の測定例：経年変化



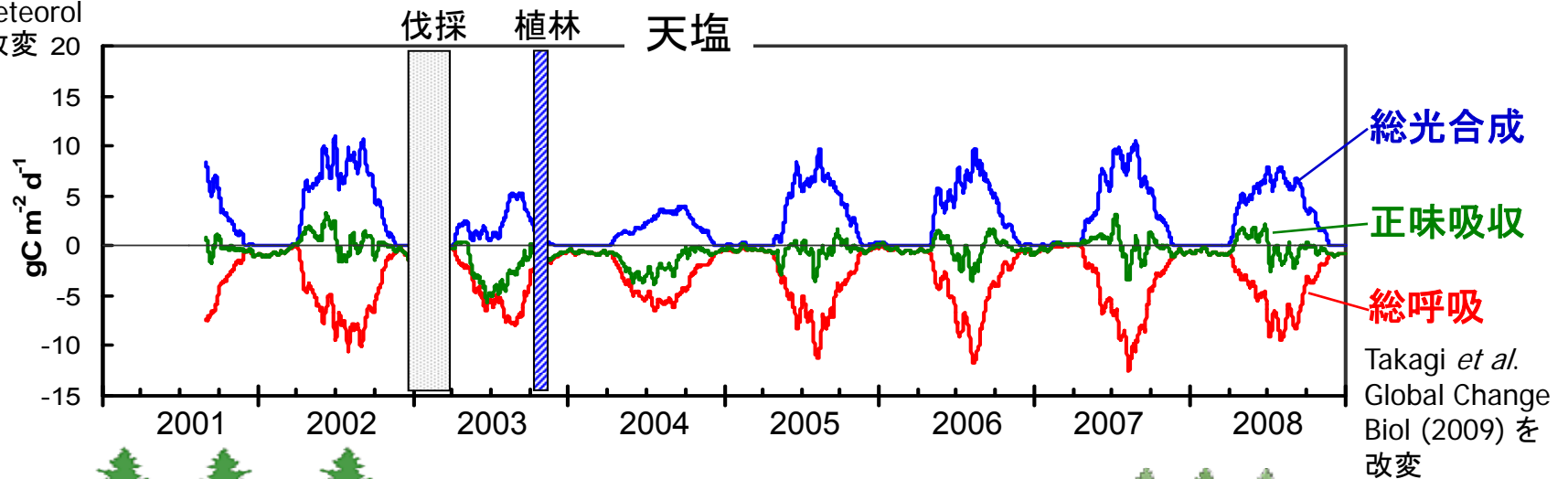
成熟林と伐採・
植林後の森林
でCO₂収支を
比較します。



森林のCO₂収支の測定例：経年変化



Hirata *et al.*
Agri For Meteorol
(2007) を改変



針広混交林
(成熟林)



伐採

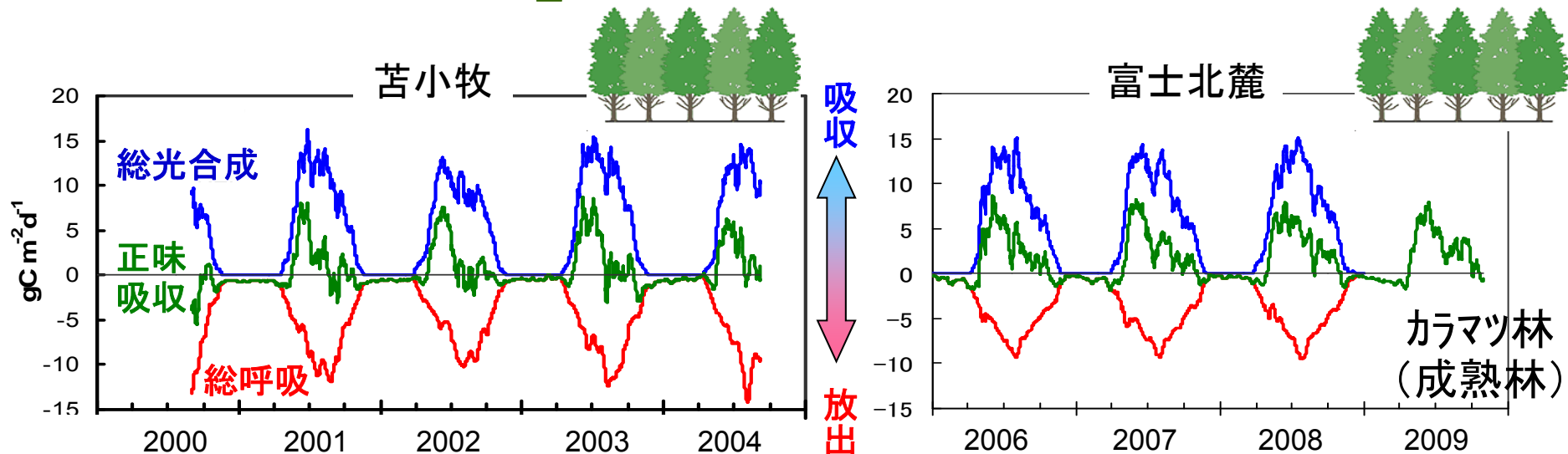


植林

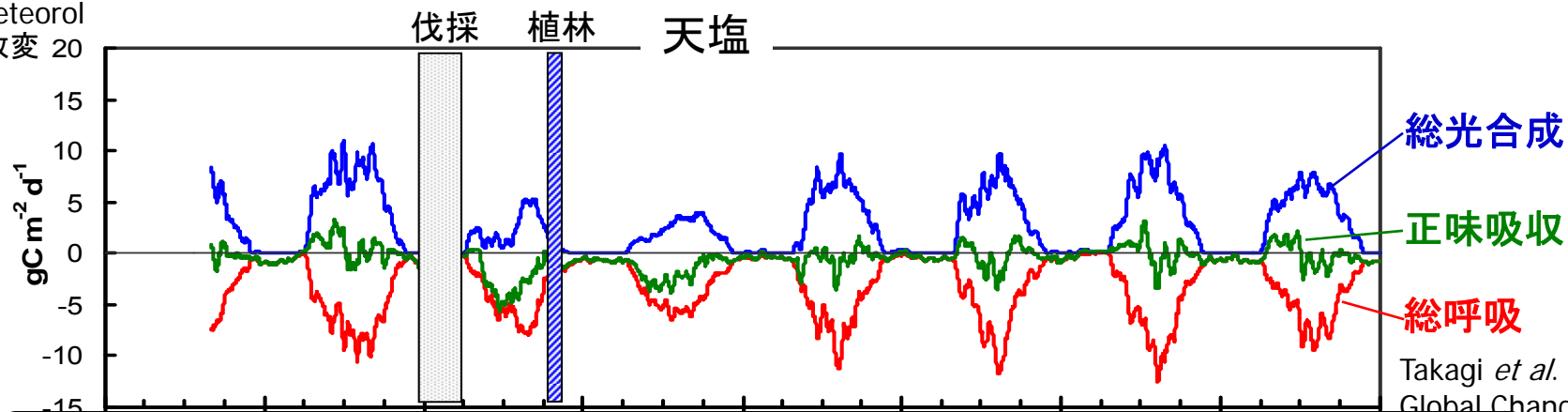


カラマツ林
(若年林)

森林のCO₂収支の測定例：経年変化



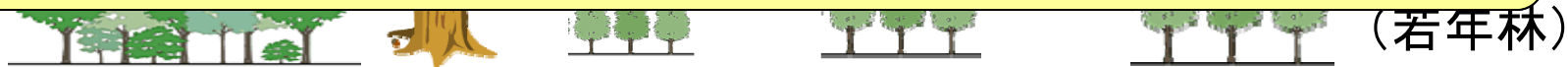
Hirata *et al.*
Agri For Meteorol
(2007) を改変




Takagi *et al.*
Global Change
) を

伐採後に大きな放出 → 植林後数年で吸収≒放出

針広混
(成熟林)



(若年林)



観測開始10周年記念講演会

森のちから・北の森の炭素循環
～天塩大規模植林実験の10年～

2010年11月19日(金) 15:00～17:00

会場: 北海道大学遠友学舎

参加費: 無料(定員50名)

<http://www.nies.go.jp/>

北大天塩研究林CC-LaGサイト (2007/10/15)



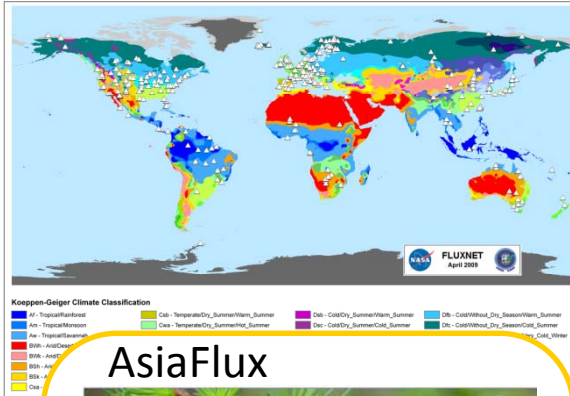
内 容

1. 森林における二酸化炭素収支の観測研究
2. アジアにおける観測ネットワーク: AsiaFlux
および CarboEastAsia の活動
3. 森林炭素広域モニタリングに向けた取組

世界・アジア・日本に広がる陸域観測ネットワーク

陸域熱・水・CO₂収支

FLUXNET



生態系・生物多様性

ILTER 国際長期生態学研究



分光放射・リモートセンシング

SKYNET 放射・エアロゾル



<http://atmos.cr.chiba-u.ac.jp/>

AsiaFlux

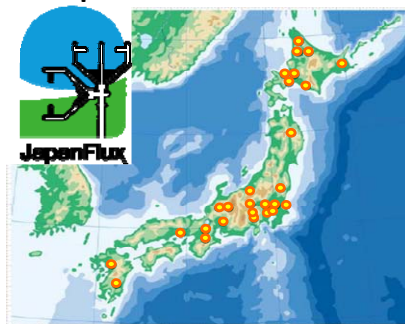


Asia 74 サイト (DB23 サイト)

国際長期生態学研究
東アジア太平洋
ILTER-EAP

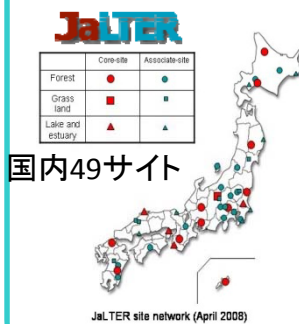
生物季節観測
Phenological
Eyes Network

JapanFlux



国内28 サイト

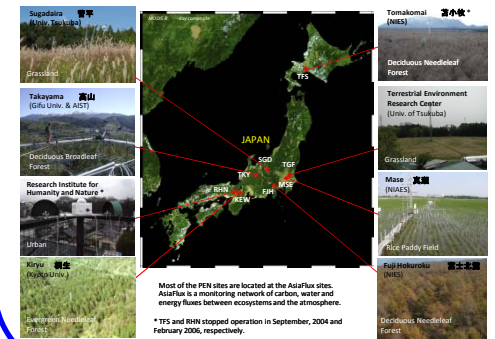
JaLTER



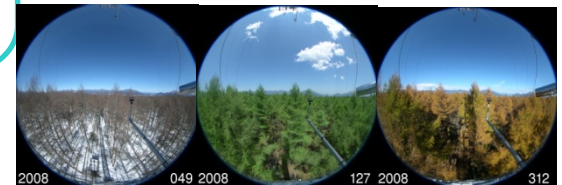
Monitoring sites
1000 (環境省)



PEN Sites



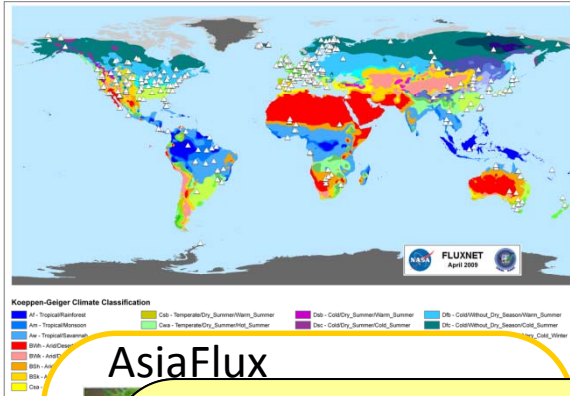
国内外22サイト



世界・アジア・日本に広がる陸域観測ネットワーク

陸域熱・水・CO₂収支

FLUXNET



生態系・生物多様性

ILTER 国際長期生態学研究



分光放射・リモートセンシング

SKYNET 放射・エアロゾル

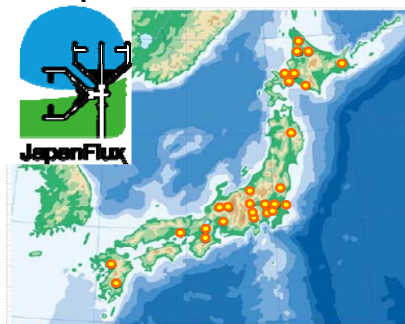


AsiaFlux

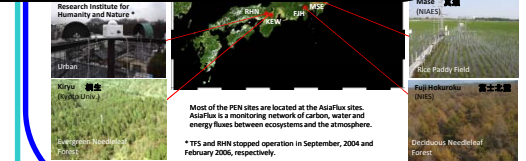
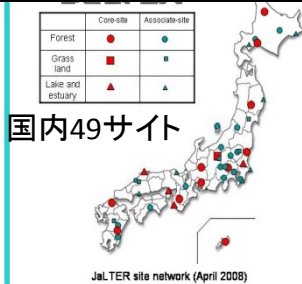
- サイト共有・データ流通の促進が課題.
- アジアにおける生態系の物質循環・生態系機能・生物多様性の総合観測サイト整備を!

Asia 74 サイト (DB23 サイト)

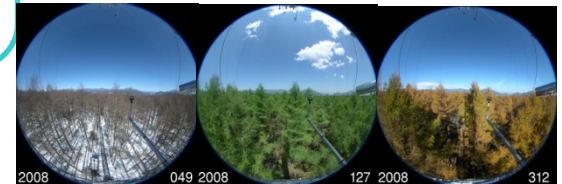
JapanFlux



国内28 サイト

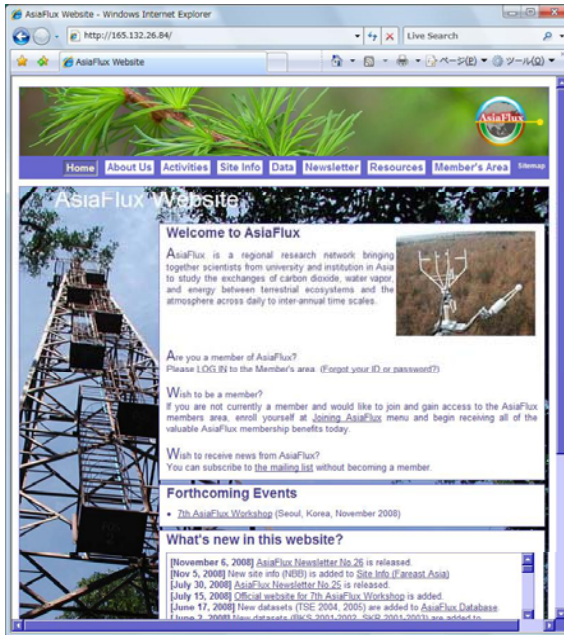


国内外22サイト



アジア熱・水・CO₂収支観測ネットワーク (AsiaFlux)

AsiaFlux
 メールリスト管理
 ・サイト情報収集

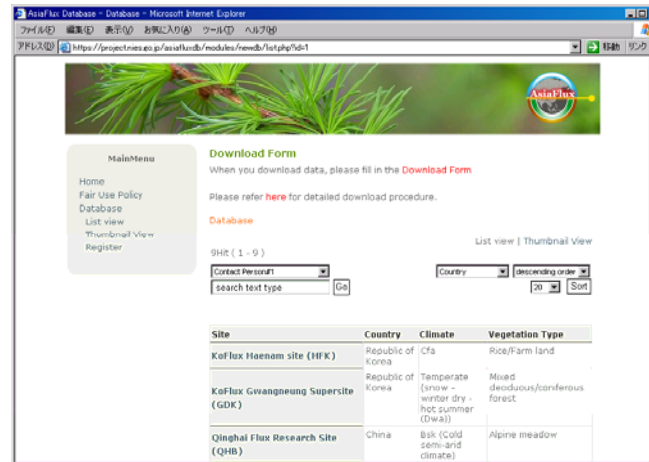


観測点登録数: 74



AsiaFlux トレーニングコース開催

データベース管理
 (協力: データベース推進室)



データ公開サイト数: 23



国際会議・共同研究支援



データ統合・広域化 WS (つくば) 開催支援



ChinaFlux TC (中国 Xining) 講師派遣等支援



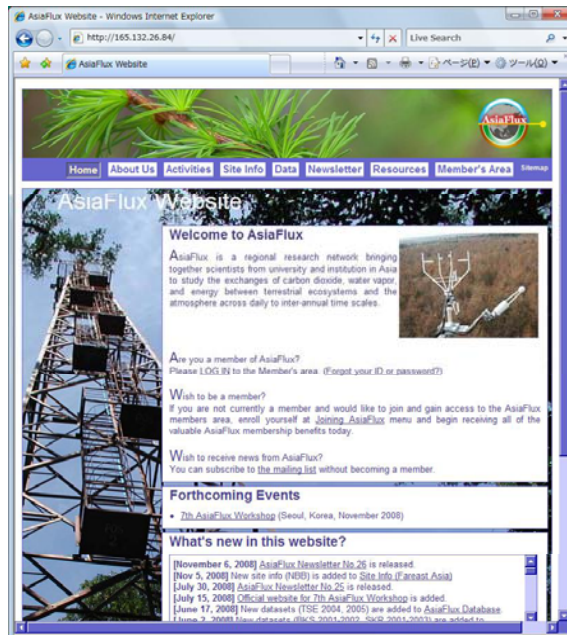
AsiaFlux Workshop 開催 (共催) 支援

アジア熱・水・CO₂収支観測ネットワーク (AsiaFlux)

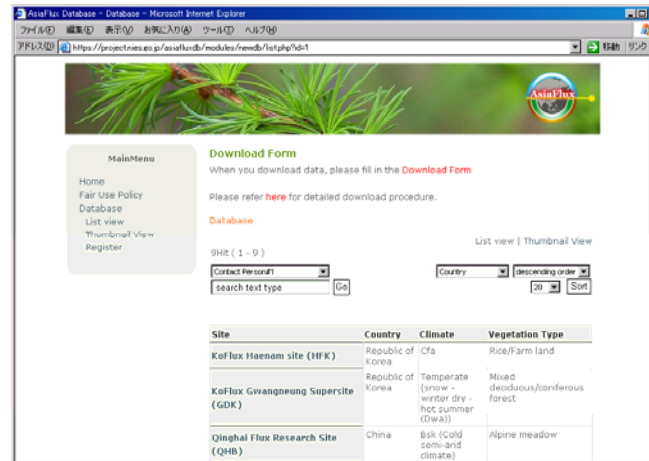
AsiaFlux
メールリスト管理
・サイト情報収集

データベース管理
(協力: データベース推進室)

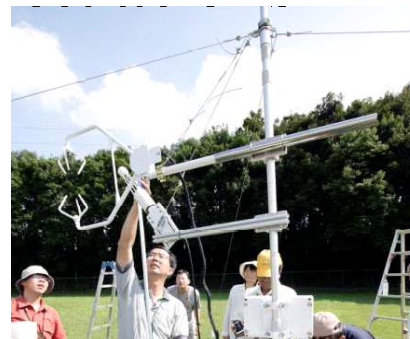
国際会議・共同研究支援



観測点登録数: 74



データ公開サイト数: 23



データ統合・広域化 WS (つくば) 開催支援



ChinaFlux TC (中国 Xining) 講師派遣等支援

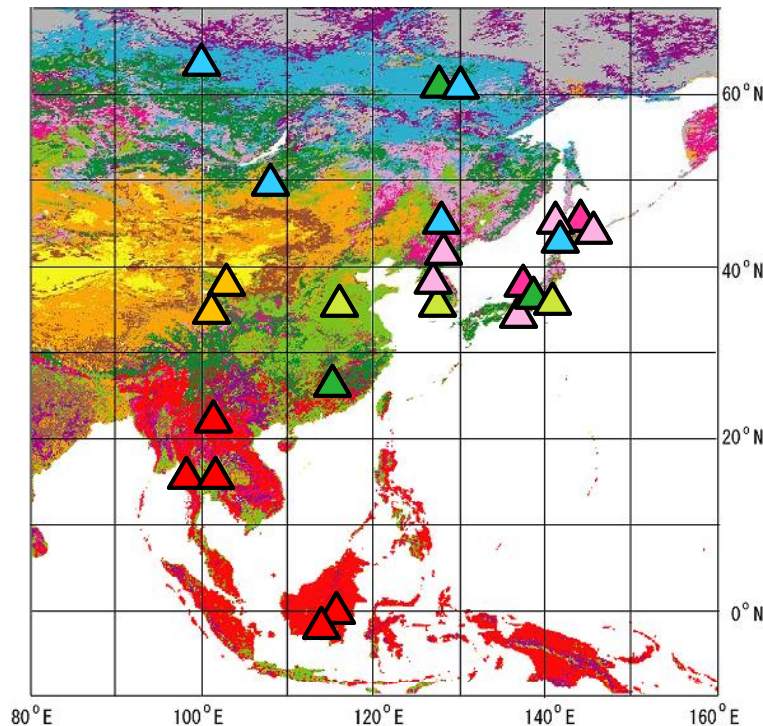


アジア諸国と連携し情報・データ・技術の流通を推進しています。

CarboEastAsia (ChinaFlux, JapanFlux, KoFlux)

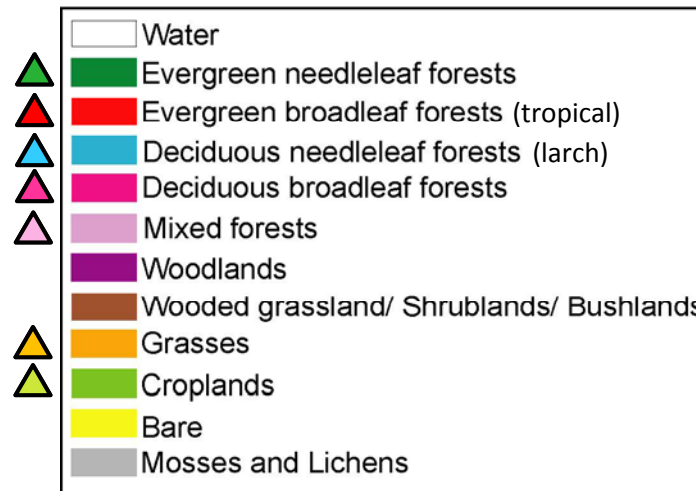
日中韓による AsiaFlux の中核的共同研究です。

データベース登録サイトの位置



活動内容:

- 野外比較実験・技術交流
- ネットワーク化・サイト間比較
- モデル相互比較
- セミナー・ワークショップ開催



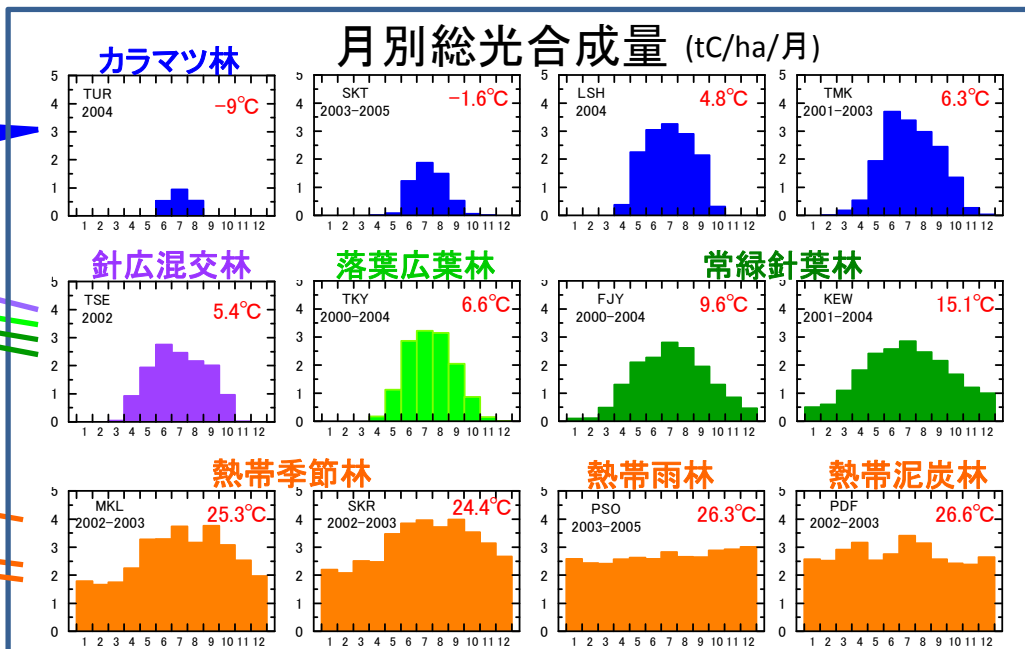
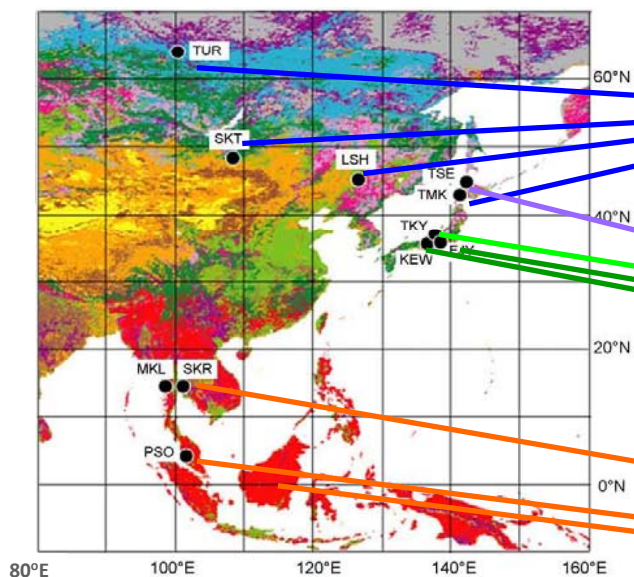
Land classification map (De Fries *et al.*, 1998)

Supported by JSPS (Japan), NSFC (Cina) & KOSEF (Korea)

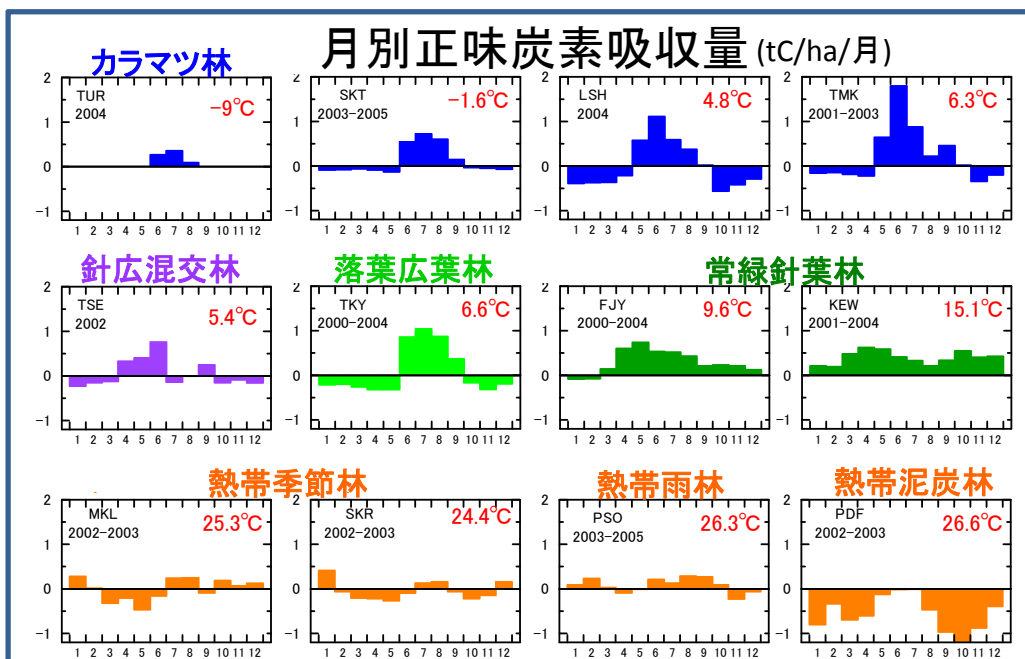
<http://www.carboeastasia.org/>

CarboEastAsia: Capacity building among ChinaFlux, JapanFlux and KoFlux to cope with climate change protocols by synthesizing measurement, theory and modeling in quantifying and understanding of carbon fluxes and storages in East Asia

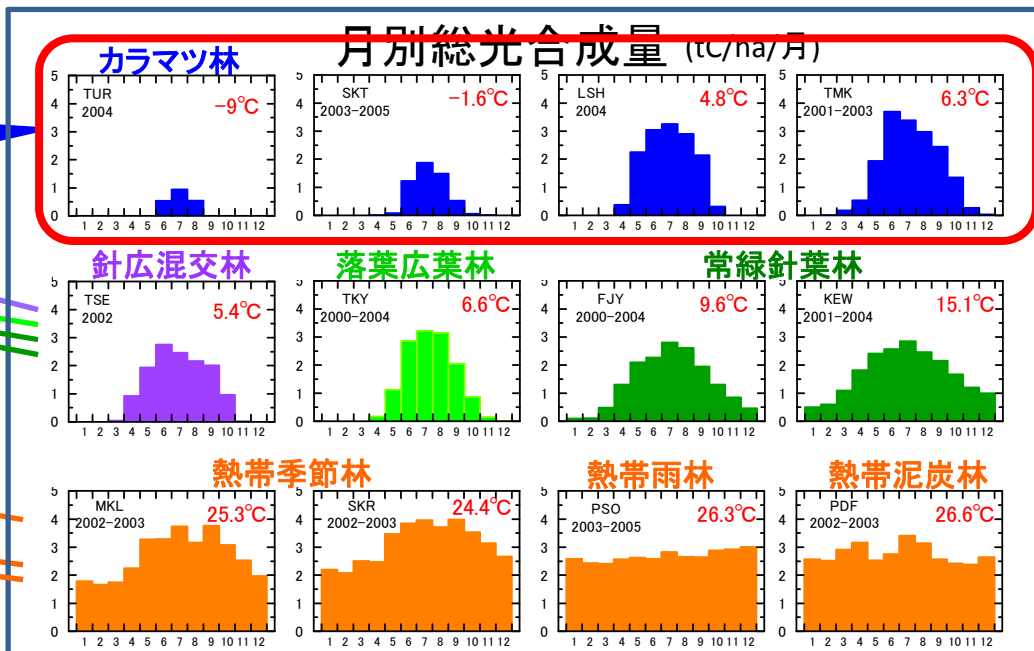
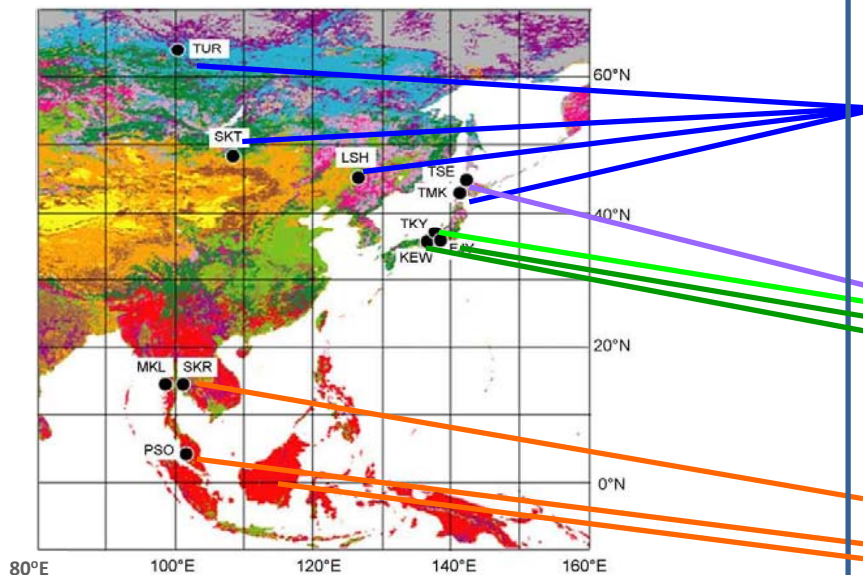
アジア各地の森林における炭素収支の空間分布



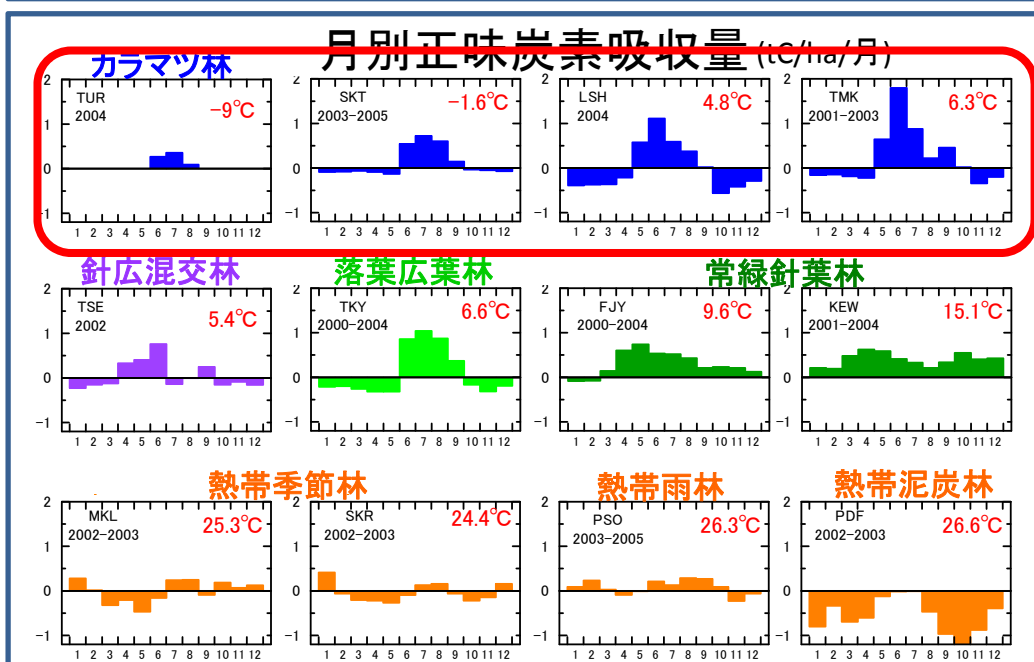
気候帯と森林タイプに応じて炭素収支の季節変化パターンが異なります。



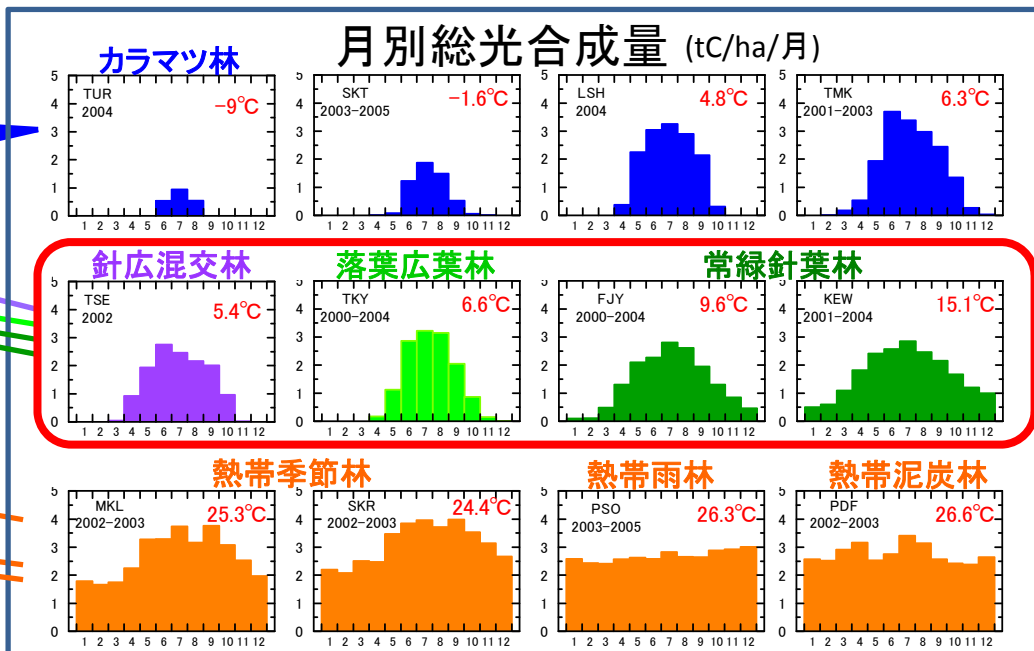
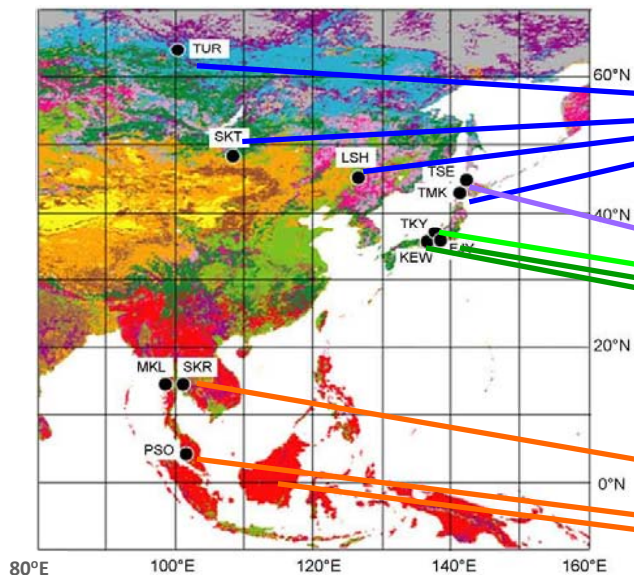
アジア各地の森林における炭素収支の空間分布



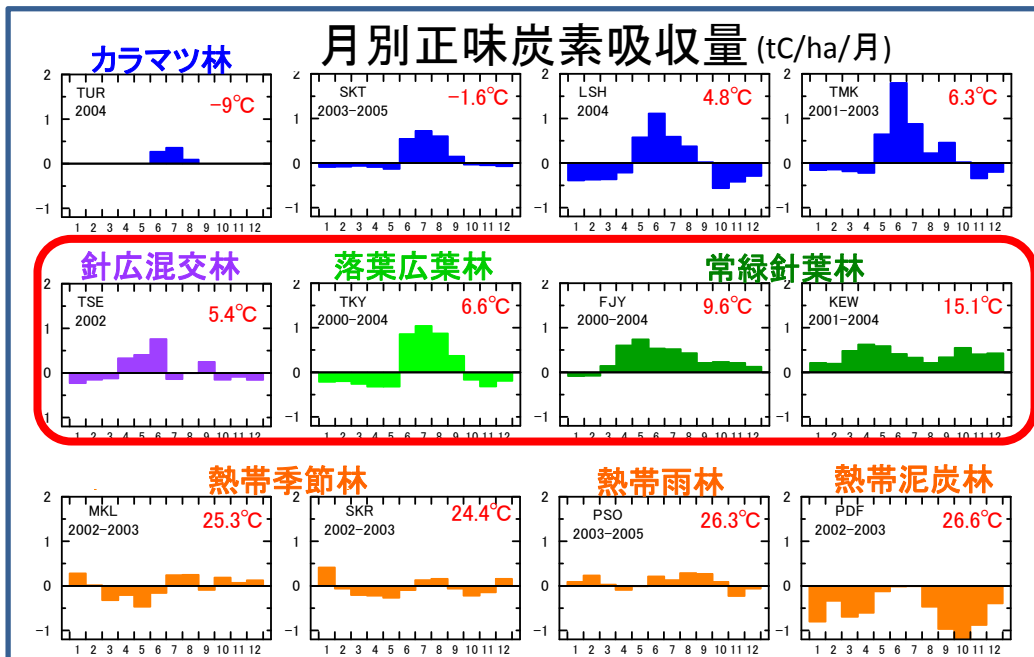
気候帯と森林タイプに応じて炭素収支の季節変化パターンが異なります。



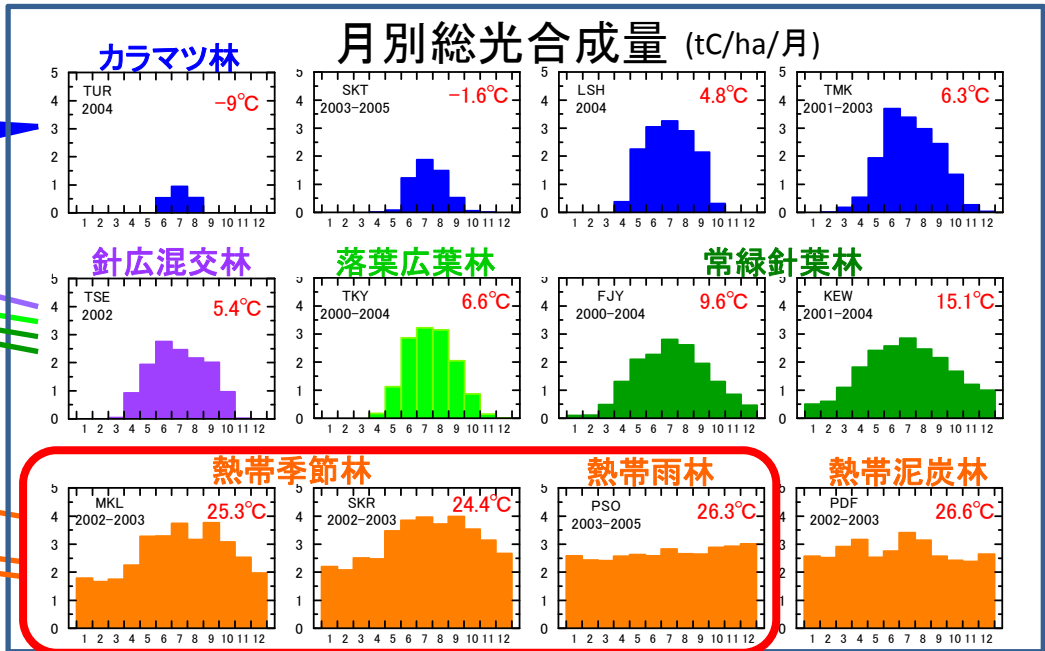
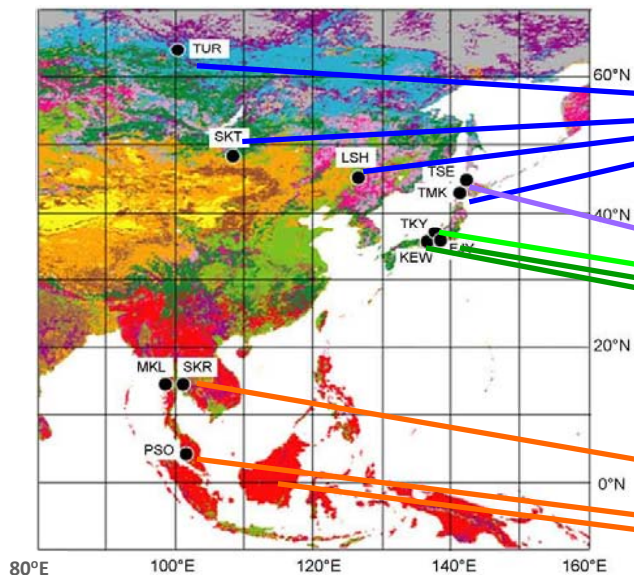
アジア各地の森林における炭素収支の空間分布



気候帯と森林タイプに応じて炭素収支の季節変化パターンが異なります。

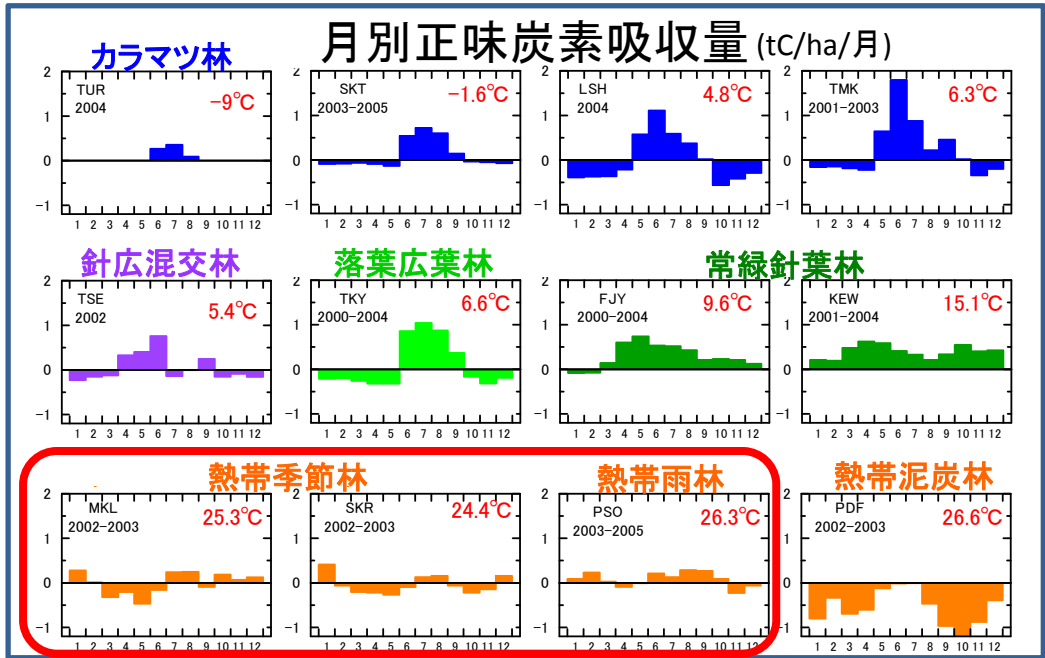


アジア各地の森林における炭素収支の空間分布

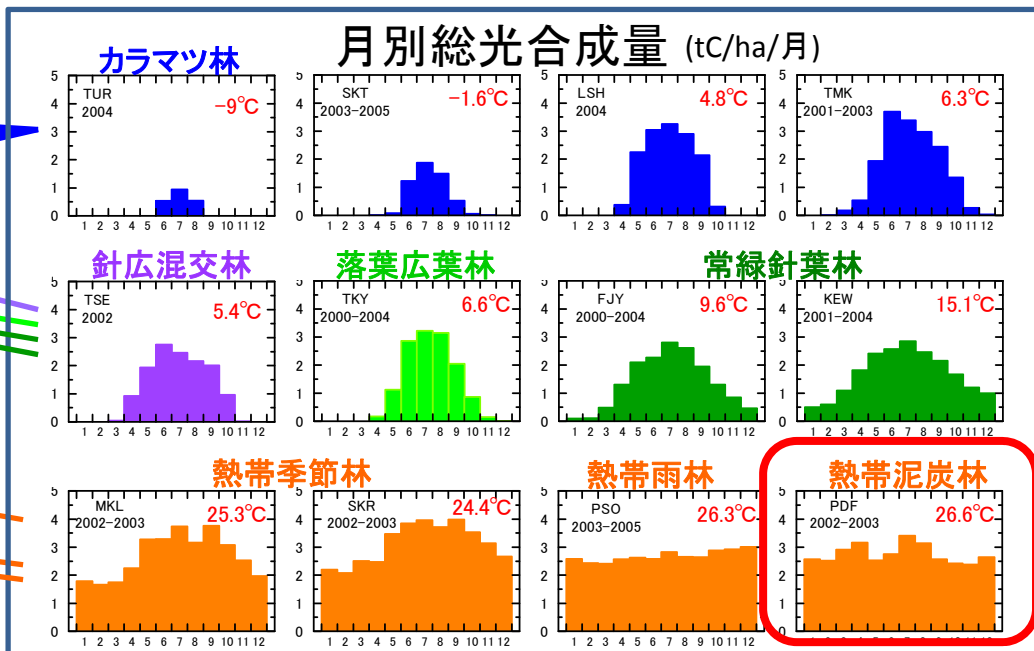
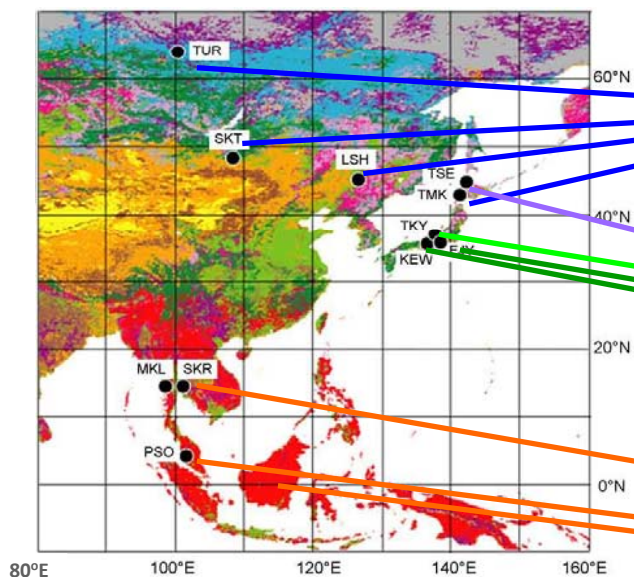


気候帯と森林タイプに応じて炭素収支の季節変化パターンが異なります。

非攪乱の熱帯林は吸収と放出がほぼバランスしています。



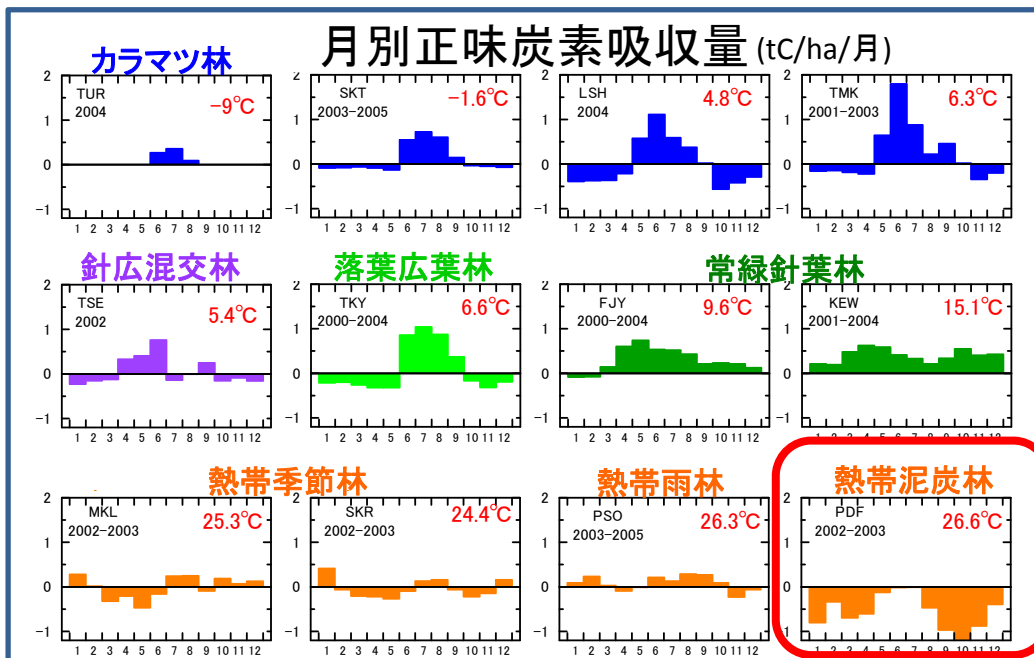
アジア各地の森林における炭素収支の空間分布



気候帯と森林タイプに応じて炭素収支の季節変化パターンが異なります。

非攪乱の熱帯林は吸収と放出がほぼバランスしています。

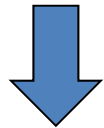
乾燥化の進む熱帯泥炭林で大きな放出がみられます。



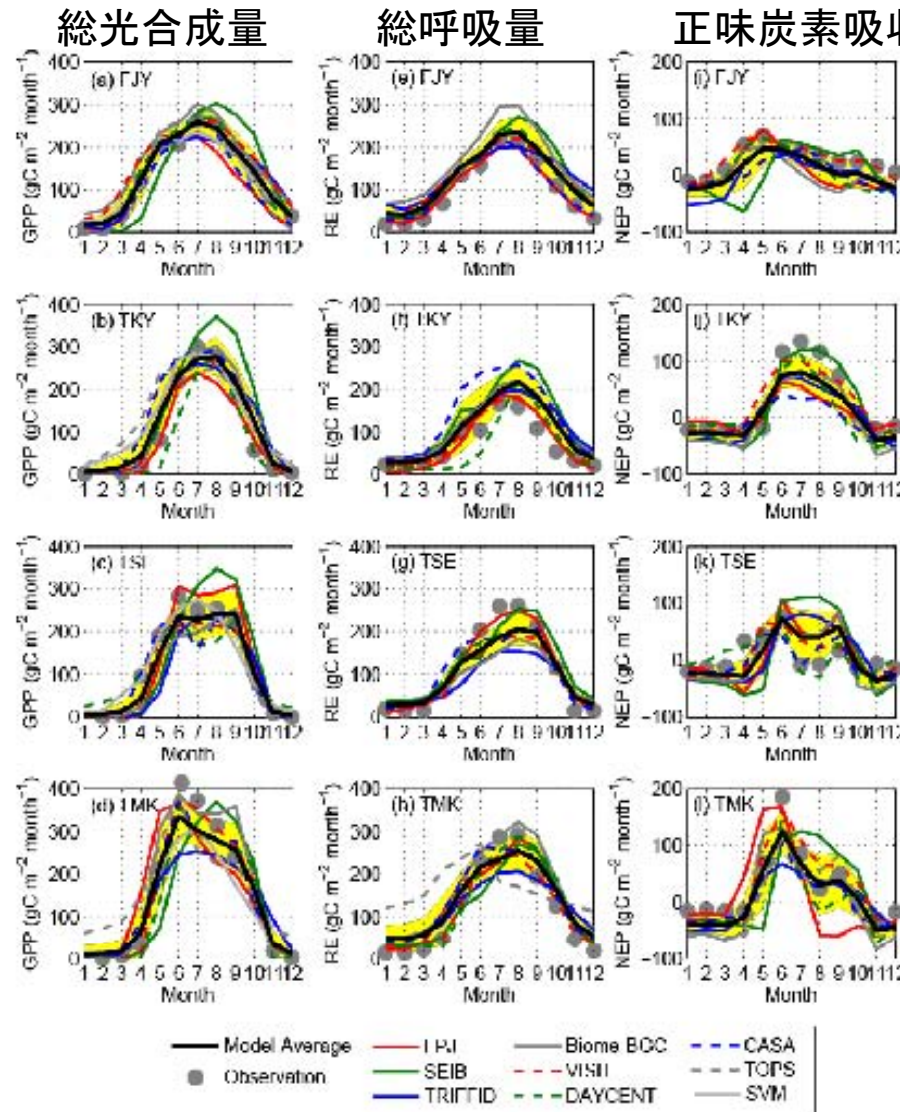
陸域生態系モデルへの検証データ提供

観測ネットワークのデータを使いモデルの不確実性低減をはかります。

AsiaFlux dataset
を用いた9種の
陸域モデルの
比較



日本およびアジア
の炭素収支量の
時空間分布検証



日本
アカマツ林
(富士吉田)

日本
カンハミズナラ林
(高山)

日本
混交林
(天塩)

日本
カラマツ林
(苫小牧)

Ichii *et al.* (2010)
Biogeosciences

(CarboEastAsia)

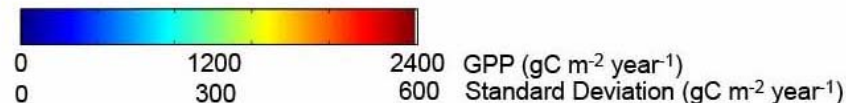
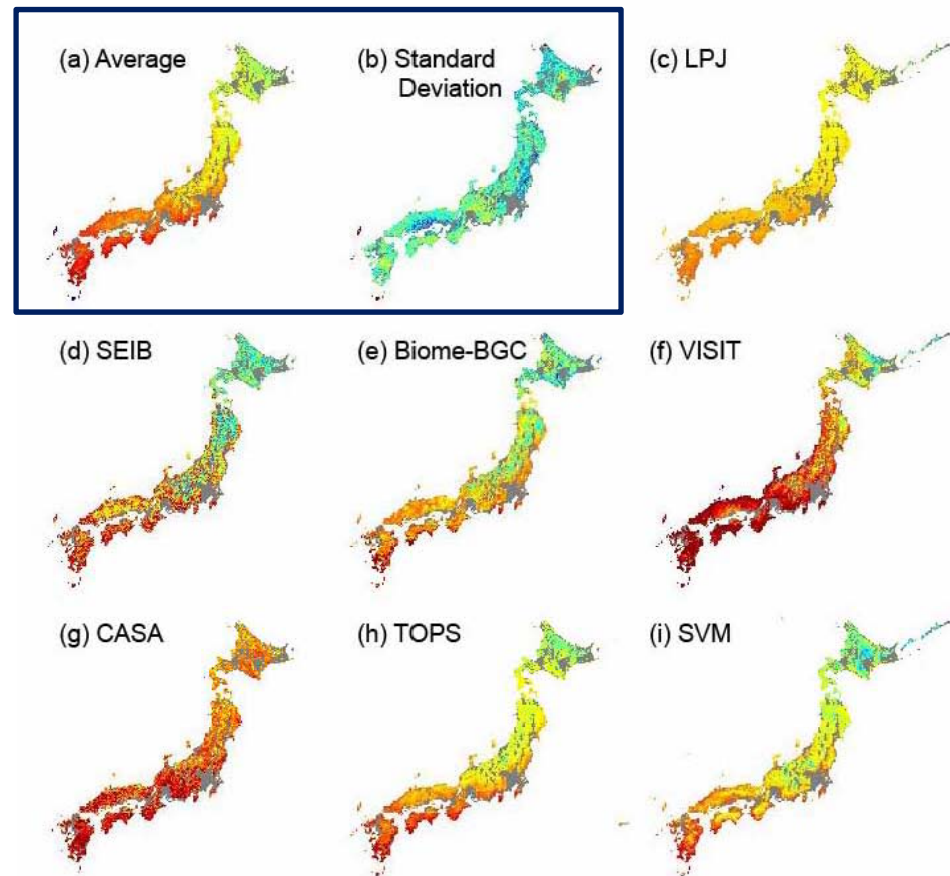
陸域生態系モデルへの検証データ提供

観測ネットワークのデータを使いモデルの不確実性低減をはかります。

AsiaFlux dataset
を用いた9種の
陸域モデルの
比較



日本およびアジア
の炭素収支量の
時空間分布検証

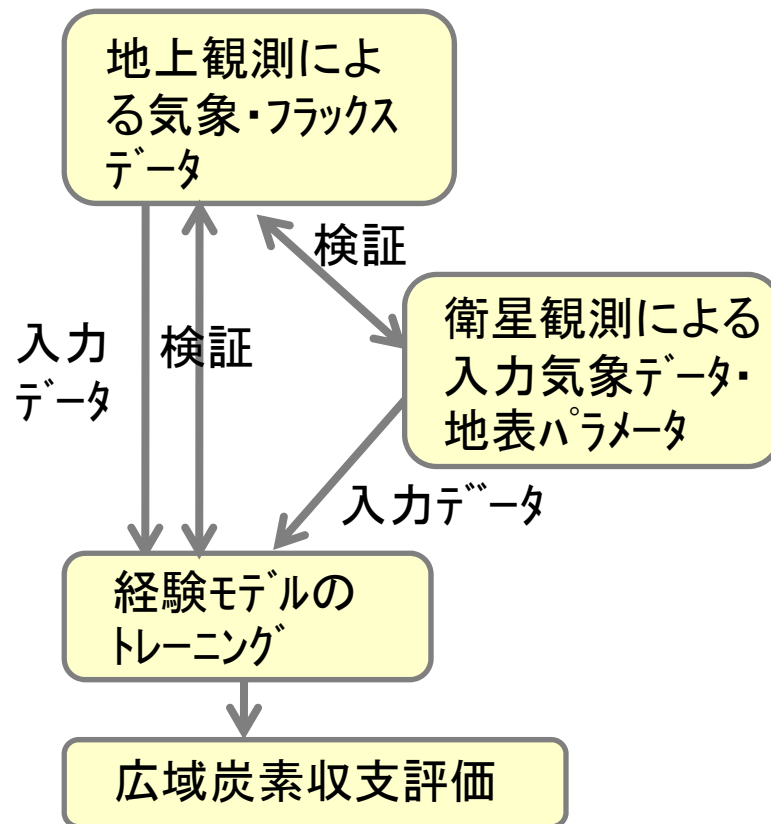


Ichii *et al.* (2010)
Biogeosciences

(CarboEastAsia)

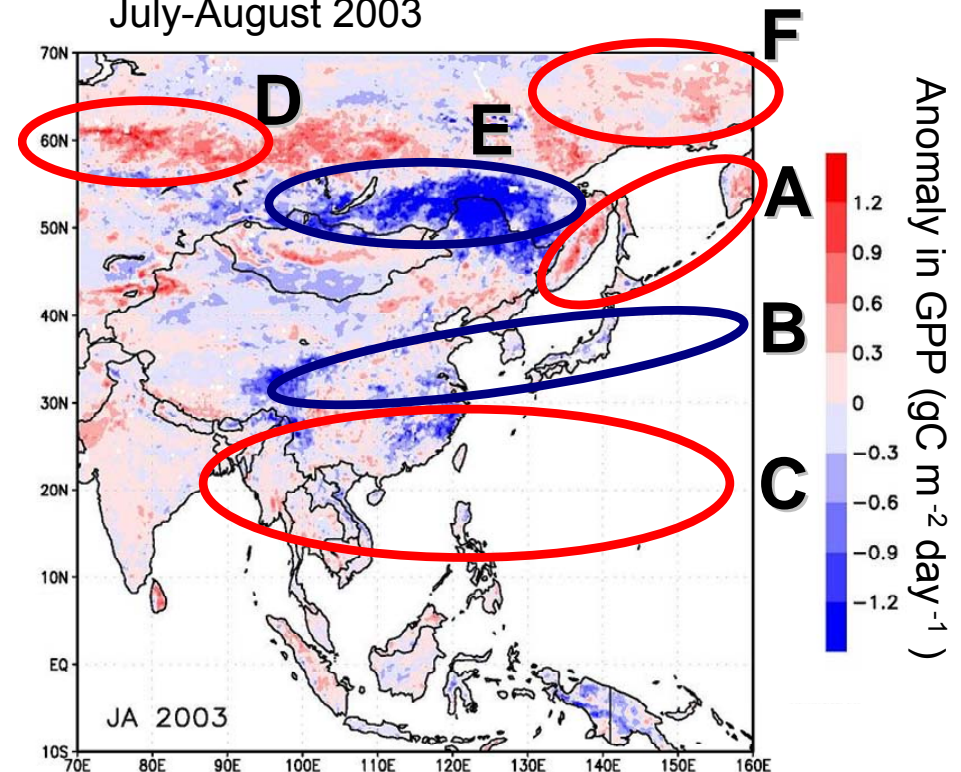
フラックスデータ, 衛星データ, 陸域モデル統合に基づく 大陸スケール炭素収支評価

観測データに基づいて評価された
炭素収支の時空間分布を得る



(CarboEastAsia)

2003年夏の気象偏差に伴う総光合成量の偏差
July-August 2003



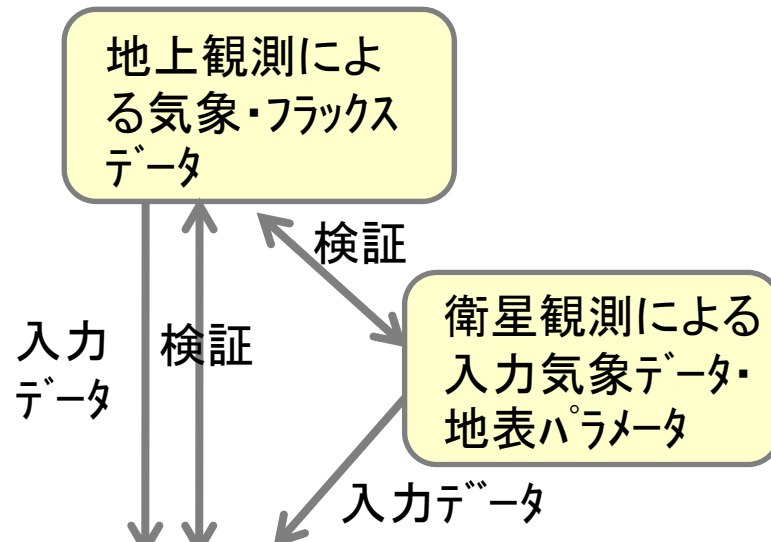
(base period 2001-2006)

- Support Vector Machine (Yang *et al.*, 2007)
- 2001-2006, 8-day average, 8km resolution
- Input & test data: AmeriFlux, AsiaFlux

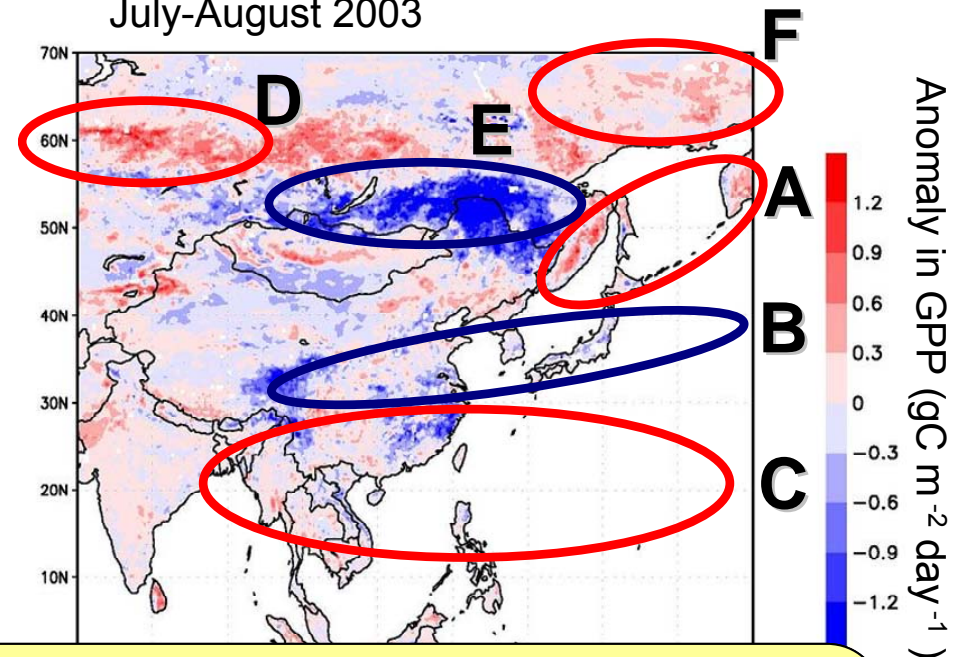
Saigusa *et al.* (2010) *Biogeosciences*

フラックスデータ, 衛星データ, 陸域モデル統合に基づく 大陸スケール炭素収支評価

観測データに基づいて評価された
炭素収支の時空間分布を得る



2003年夏の気象偏差に伴う総光合成量の偏差
July-August 2003



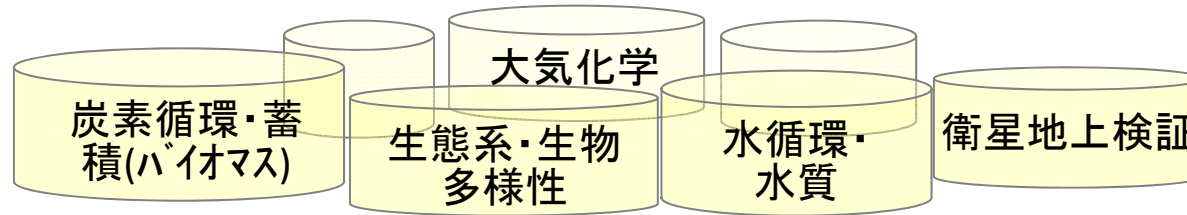
冷夏・猛暑などの年々の気象変動の影響を受け、
アジアの炭素収支が大陸スケールで変動するよ
うすを検出することができるようになりました。



内 容

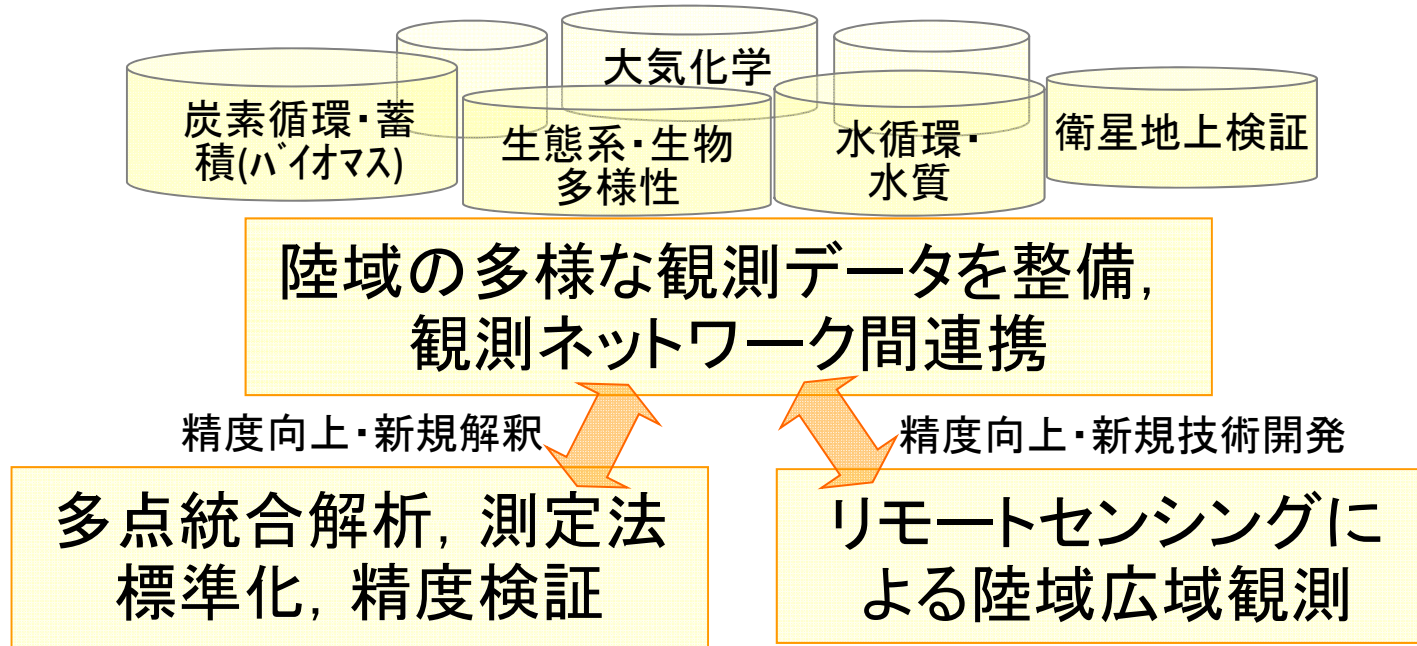
1. 森林における二酸化炭素収支の観測研究
2. アジアにおける観測ネットワーク: AsiaFlux
および CarboEastAsia の活動
3. 森林炭素広域モニタリングに向けた取組

森林炭素広域モニタリングのロードマップ

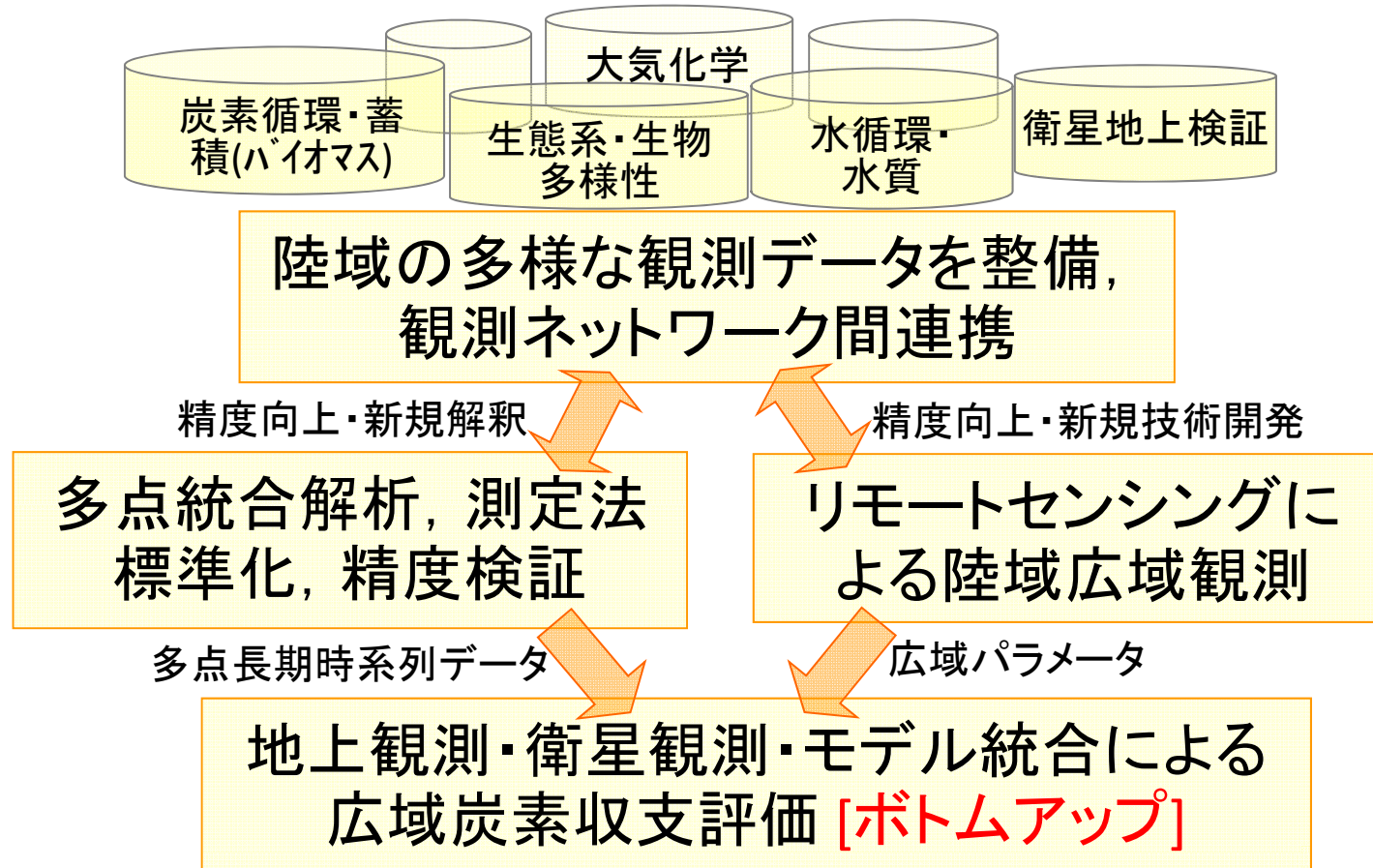


陸域の多様な観測データを整備,
観測ネットワーク間連携

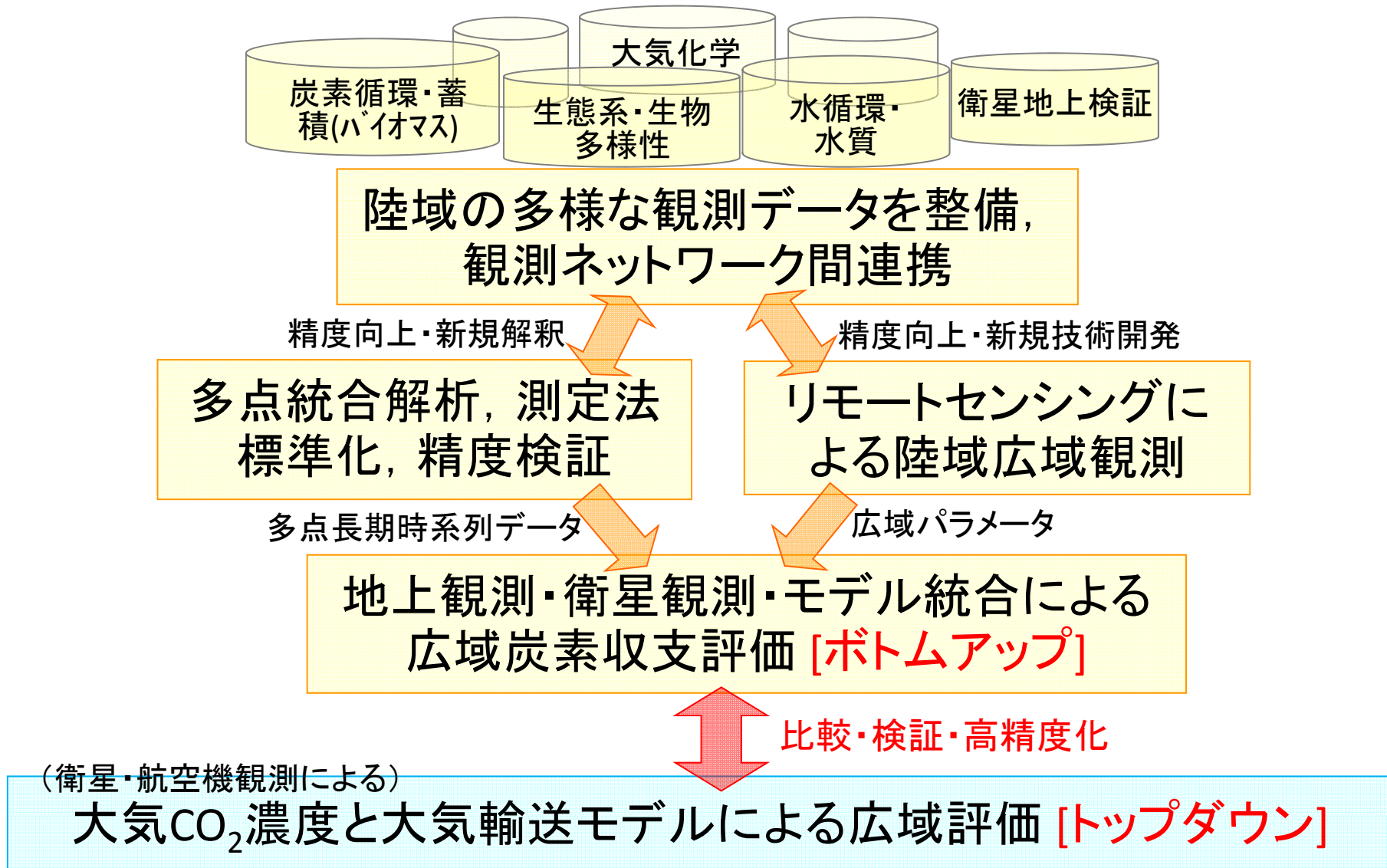
森林炭素広域モニタリングのロードマップ



森林炭素広域モニタリングのロードマップ



森林炭素広域モニタリングのロードマップ



[ボトムアップ] と [トップダウン] の両方向から不確実性を狭めることが必要.



まとめ

1. **アジアにおける陸域観測ネットワーク**は森林炭素モニタリングの構築に不可欠.
2. **人為・自然による攪乱**とその炭素収支への影響は森林炭素モニタリングに重要.
3. **陸域観測ネットワークのデータ**をモデル検証に統合的に利用することで、大陸規模での森林炭素収支推定が可能.