

バイオマス産業社会ネットワーク第204回研究会  
2022年2月17日

# カーボンニュートラル実現に向けての 世界の森林の吸収拡大にかかわる 課題とは

1. 食料・水・生態系と調和する気候変動対策とは  
(IPCC土地関係特別報告書より)
2. 世界の森林による二酸化炭素吸収の現状  
(二酸化炭素吸収量の現地観測)

国立環境研究所 地球システム領域

さいぐさ のぶこ  
三枝 信子



国立環境研究所 富士北麓森林炭素収支  
モニタリングサイト 遠景

# IPCC 土地関係特別報告書

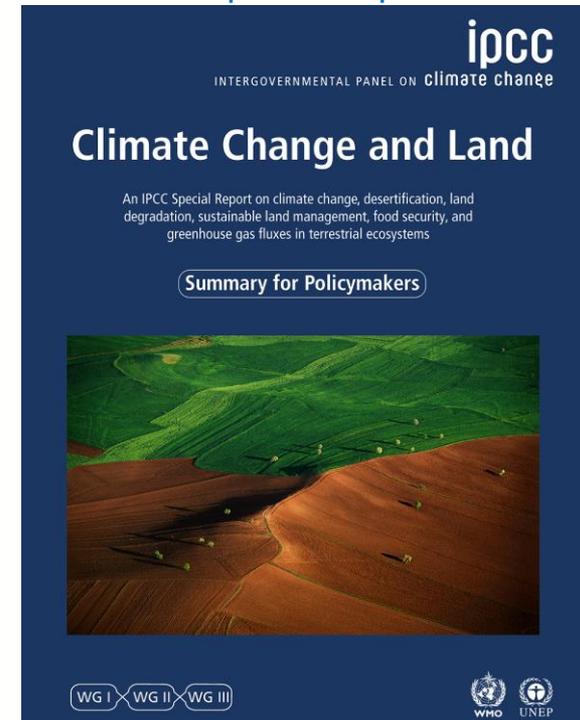
## IPCC Special Report on Climate Change and Land

タイトル (和訳):

気候変動と土地: 気候変動、砂漠化、土地の劣化、持続可能な土地管理、食料安全保障及び陸域生態系における温室効果ガスフラックスに関するIPCC特別報告書

- 気候変動対策と食料安全保障は土地と水をめぐって競合する。
- 持続可能な土地管理により、食料・水・生態系と調和する気候変動対策をどこまで推進できるか？

[www.ipcc.ch/report/SRCCL](http://www.ipcc.ch/report/SRCCL)



IPCC土地関係特別報告書  
政策決定者向け要約  
(2019年8月8日公開)

# IPCC 第6次評価報告書(AR6)に向けた報告書作成スケジュール

## Schedule for the IPCC Sixth Assessment Report (AR6)

[www.ipcc.ch/report/SRCCL](http://www.ipcc.ch/report/SRCCL)

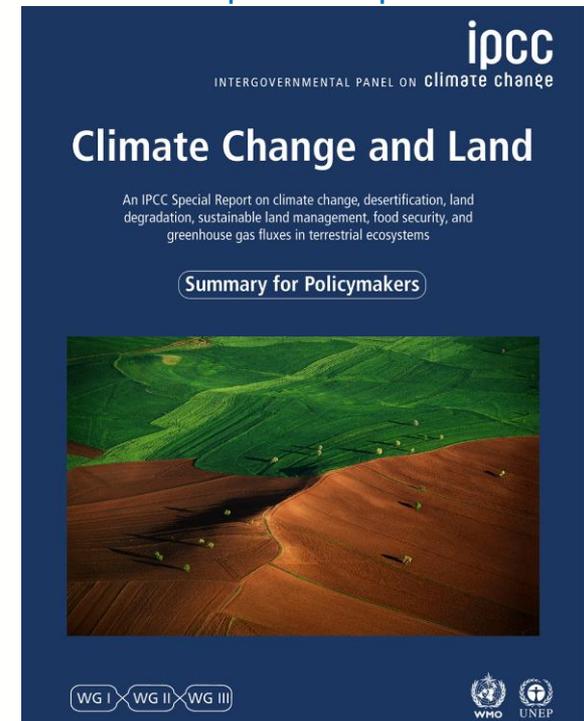
2018年10月	1.5°C特別報告書
2019年5月	温室効果ガスインベントリ に関する方法論報告書2019
2019年8月	土地関係特別報告書
2019年9月	海洋・雪氷圏特別報告書
2021年8月	IPCC AR6 第1作業部会報告
2022年2月*	IPCC AR6 第2作業部会報告
2022年3月*	IPCC AR6 第3作業部会報告
2022年9月*	IPCC AR6 統合報告書

第1作業部会(WG1)- 自然科学的根拠  
第2作業部会(WG2)- 影響・適応・脆弱性  
第3作業部会(WG3)- 気候変動の緩和

\*公開予定:

環境省ホームページ (<http://www.env.go.jp/earth/ipcc/6th/index.html>) より

AR6 WG1 政策決定者向け要約(SPM) 及びヘッドライン・ステートメント(HS) 暫定訳(文科省・気象庁):  
気象庁ホームページ (<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/index.html>) より



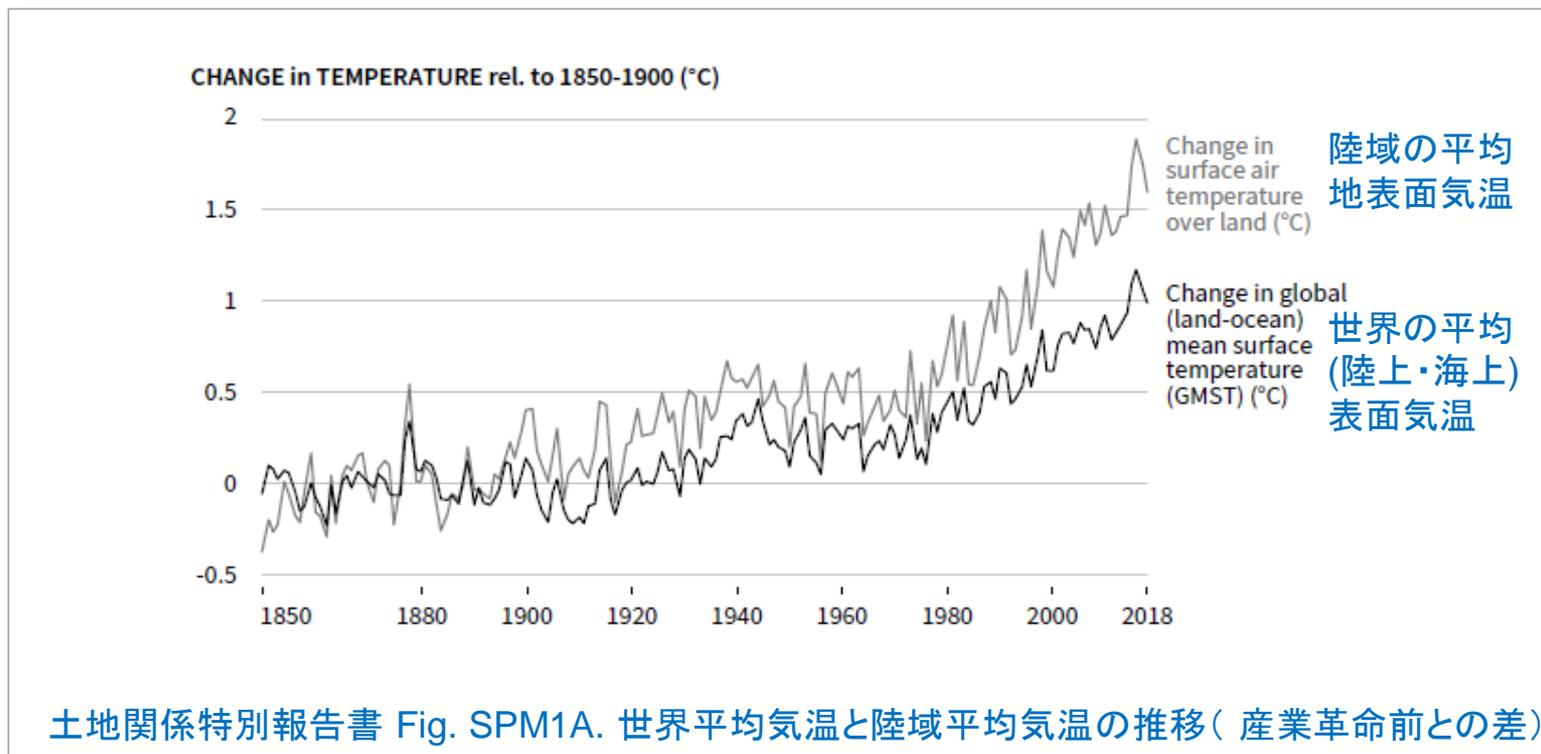
IPCC土地関係特別報告書  
政策決定者向け要約の表紙

## 陸域の昇温速度は速い

IPCC 土地関係特別報告書 SPM  
IPCC AR6 SPM

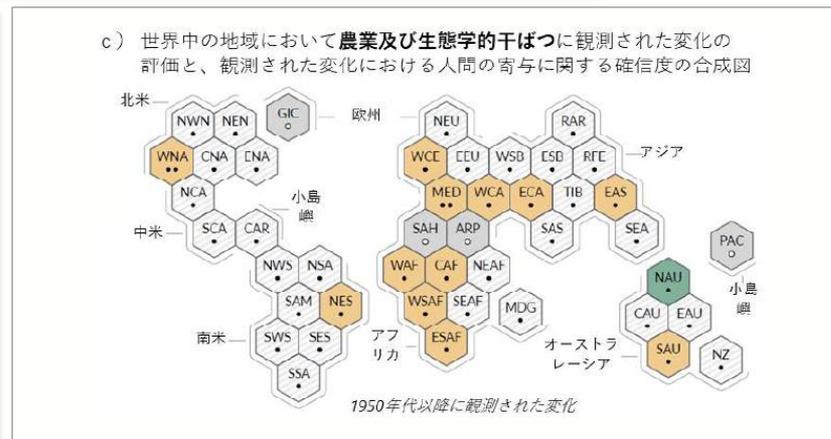
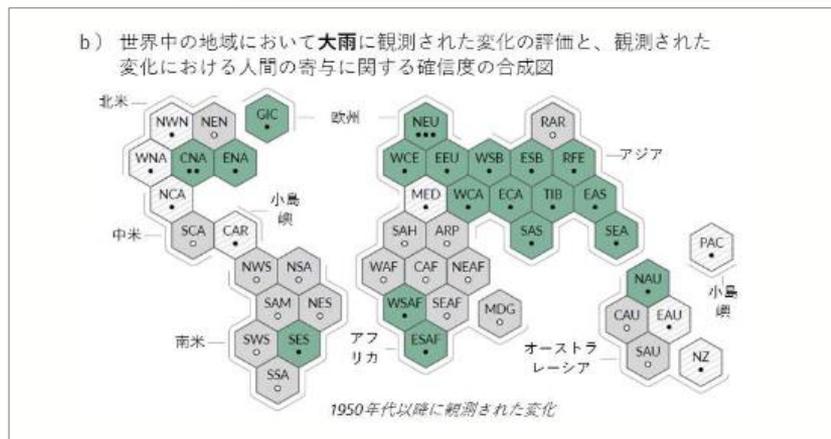
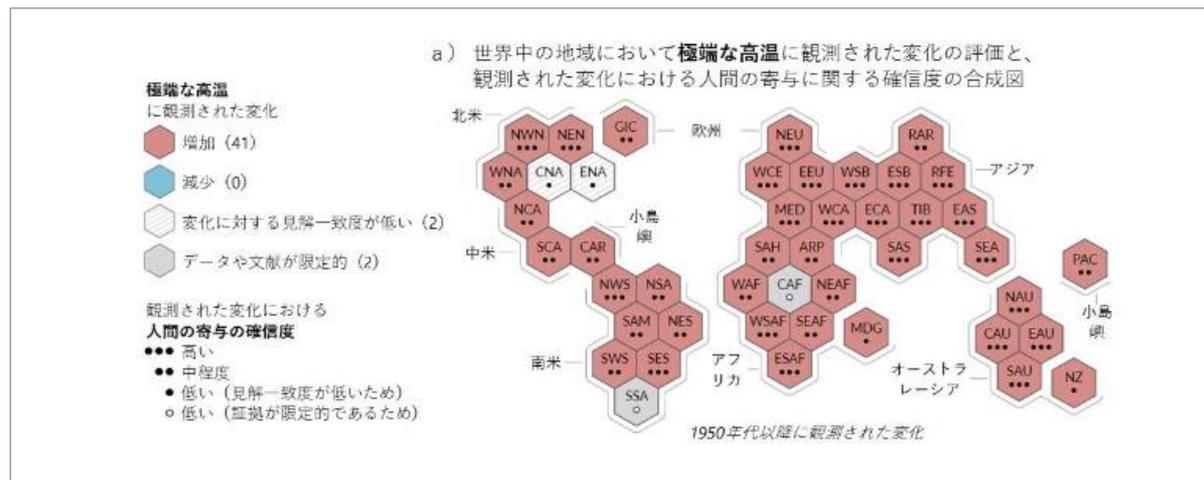
産業革命前に比べ、2006～2015年の世界の気温は平均  $0.87^{\circ}\text{C}$  上昇  
2011～2020年では  $1.09^{\circ}\text{C}$  上昇

陸域は海上よりも昇温が大きく、2006～2015年では 平均  $1.53^{\circ}\text{C}$  上昇  
2011～2020年では  $1.59^{\circ}\text{C}$  上昇



## 気候変動は干ばつや洪水を起こす極端現象の頻度を上げる

人間活動は、極端な高温、大雨、干ばつの頻度に既に影響を及ぼしている。



# 陸域は温室効果ガスの排出源でもあり吸収源でもある

## 世界の陸域は人為起源CO<sub>2</sub>総排出量の約29%を正味で吸収している

### 人為起源CO<sub>2</sub>排出



34.8 GtCO<sub>2</sub>/yr  
**89%**



**11%**  
4.1 GtCO<sub>2</sub>/yr

### 蓄積・吸収

18.6 GtCO<sub>2</sub>/yr

**48%**



**29%**

11.2 GtCO<sub>2</sub>/yr



**26%**

10.2 GtCO<sub>2</sub>/yr



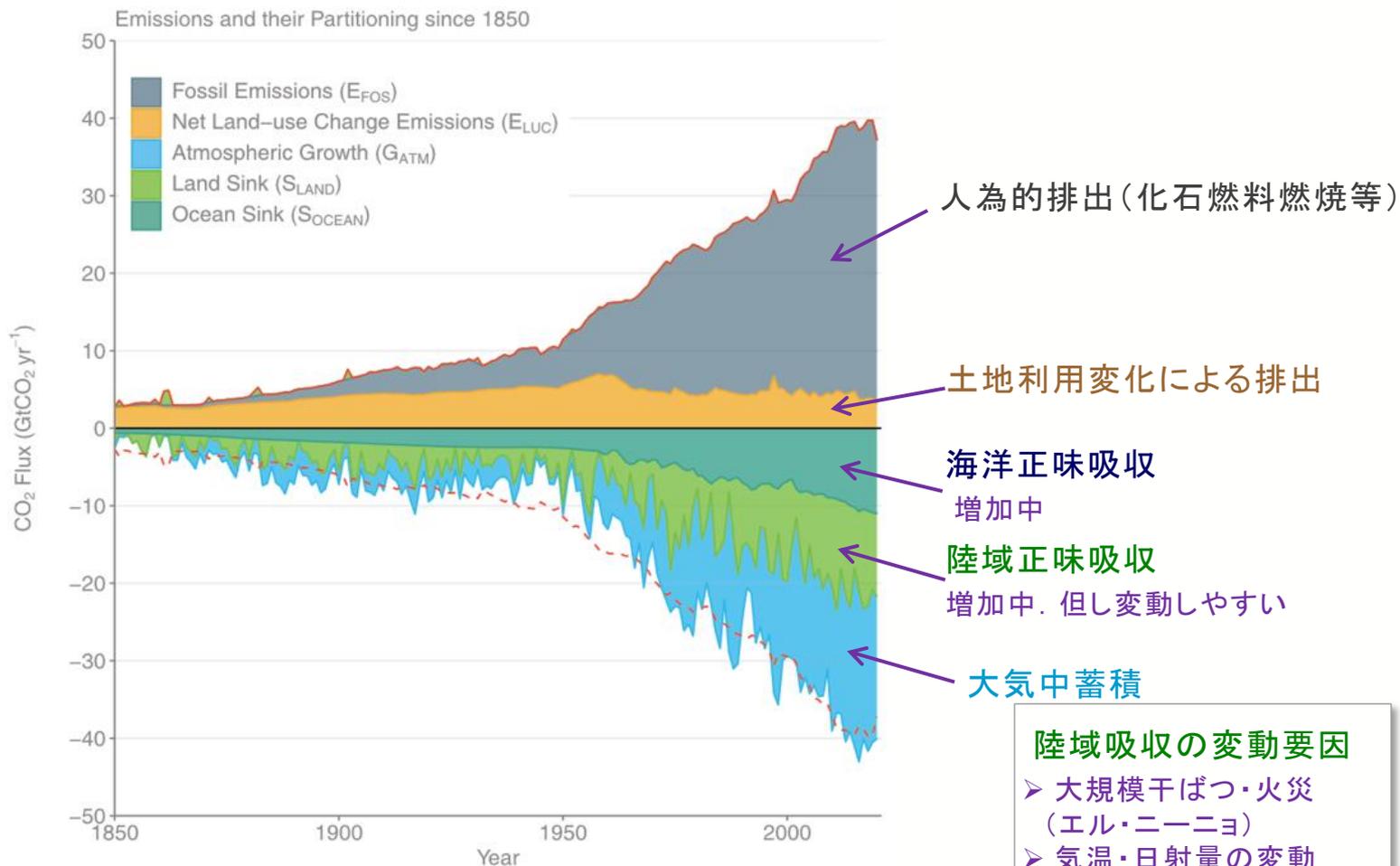
地球全体の人為及び自然の吸収・排出量（2011～2020年）

評価  
誤差

**3%**  
-1.0 GtCO<sub>2</sub>/yr

## 陸域吸収量が将来も持続するかどうかは不確実である

地球全体の人為および自然起源のCO<sub>2</sub>の吸収・排出量の長期変化



# カーボンニュートラル(実質的な排出ゼロ)とは？

人為排出と人為吸収を  
バランスさせること

同時に自然の吸収・  
排出の監視も必要

削減された  
人為的排出

強化された  
人為的吸収

バランス



大気CO<sub>2</sub>濃度の安定化と  
共に減少が予想される

海洋  
自然吸収

陸域  
自然吸収

予想外の排出源の増加？

## 現実の問題

① エネルギーの脱炭素化を  
極限まで追求したとしても、  
食料生産等による排出削減  
には限界がある。

② 吸収源拡大は必要だが、  
生物多様性の保全や食料  
価格安定化と競合する。

③ 気候変動影響による自然  
排出の増加があり得る。

例) 高温・干ばつによる  
火災増加、凍土融解による  
GHG排出増加・・・

地球全体の人為及び自然の吸収・排出量のイメージ

大規模な新規植林やバイオ燃料作物の増産(ネガティブエミッション含む)は、限られた土地や水をめぐり食料生産\*や生物多様性保全と厳しい競合を起こす

(\*最大 1億5000万人に悪影響を与える; 第6章)

## ネガティブエミッション(負の排出)とは: 大気からCO<sub>2</sub>を除去する技術

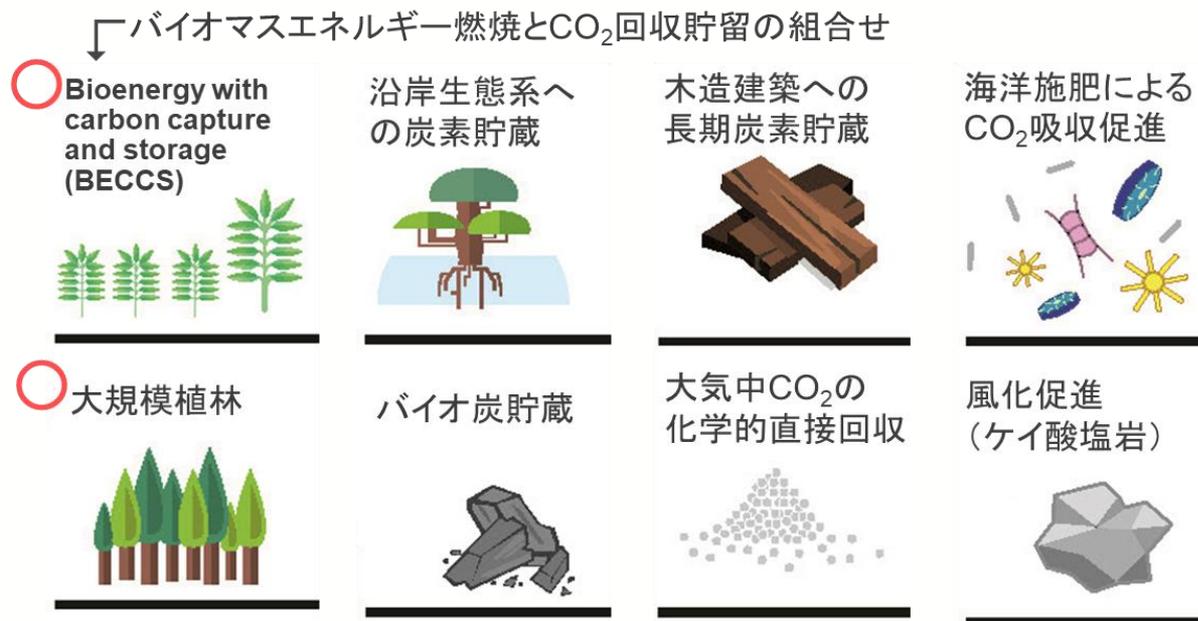


図: Williamson (2016) *Nature* に追記

## 将来予測シナリオについて

### RCP (Representative Concentration Pathways)

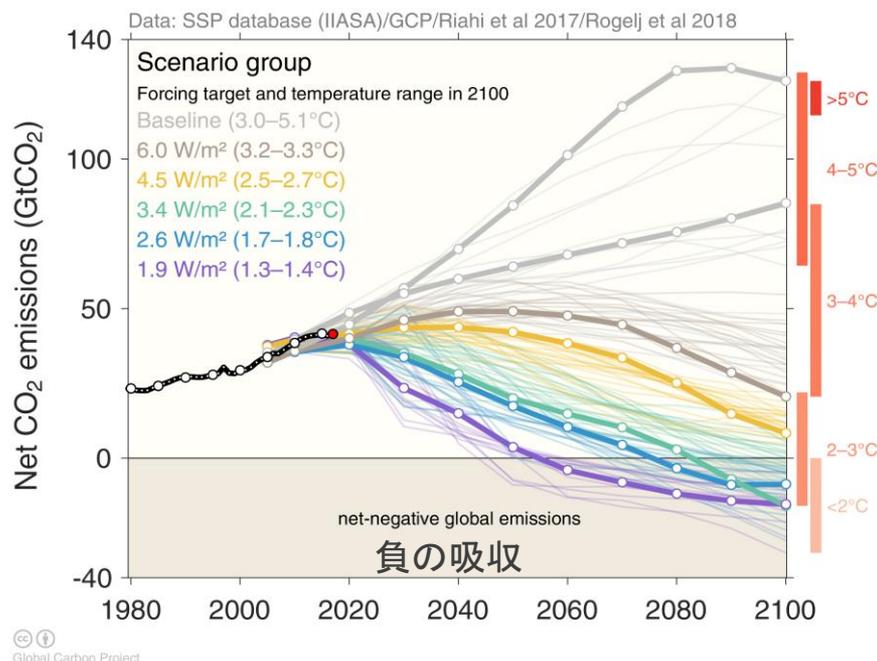
温室効果ガスの濃度(排出削減の程度)に応じた代表的濃度経路。

温室効果ガスの影響が大きい順に、

- ・高位参照シナリオ RCP8.5
  - ・高位安定化シナリオ RCP6.0
  - ・中位安定化シナリオ RCP4.5
  - ・低位安定化シナリオ RCP2.6
- などがあり(IPCC AR5)、

さらに強い削減により1.5°C目標を達成するシナリオ RCP1.9  
が追加された。

シナリオ別CO<sub>2</sub>排出量の推移

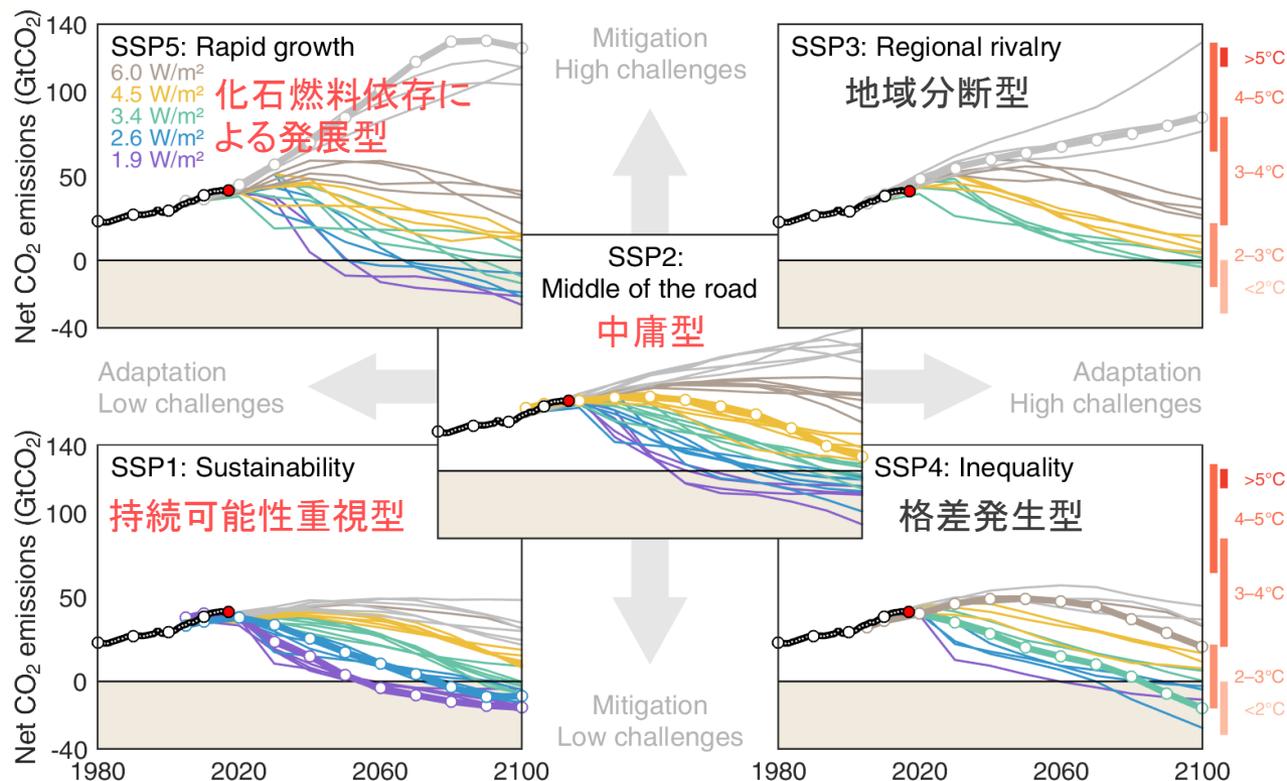


Global Carbon Project, Carbon Budget 2018より

## 将来予測シナリオについて

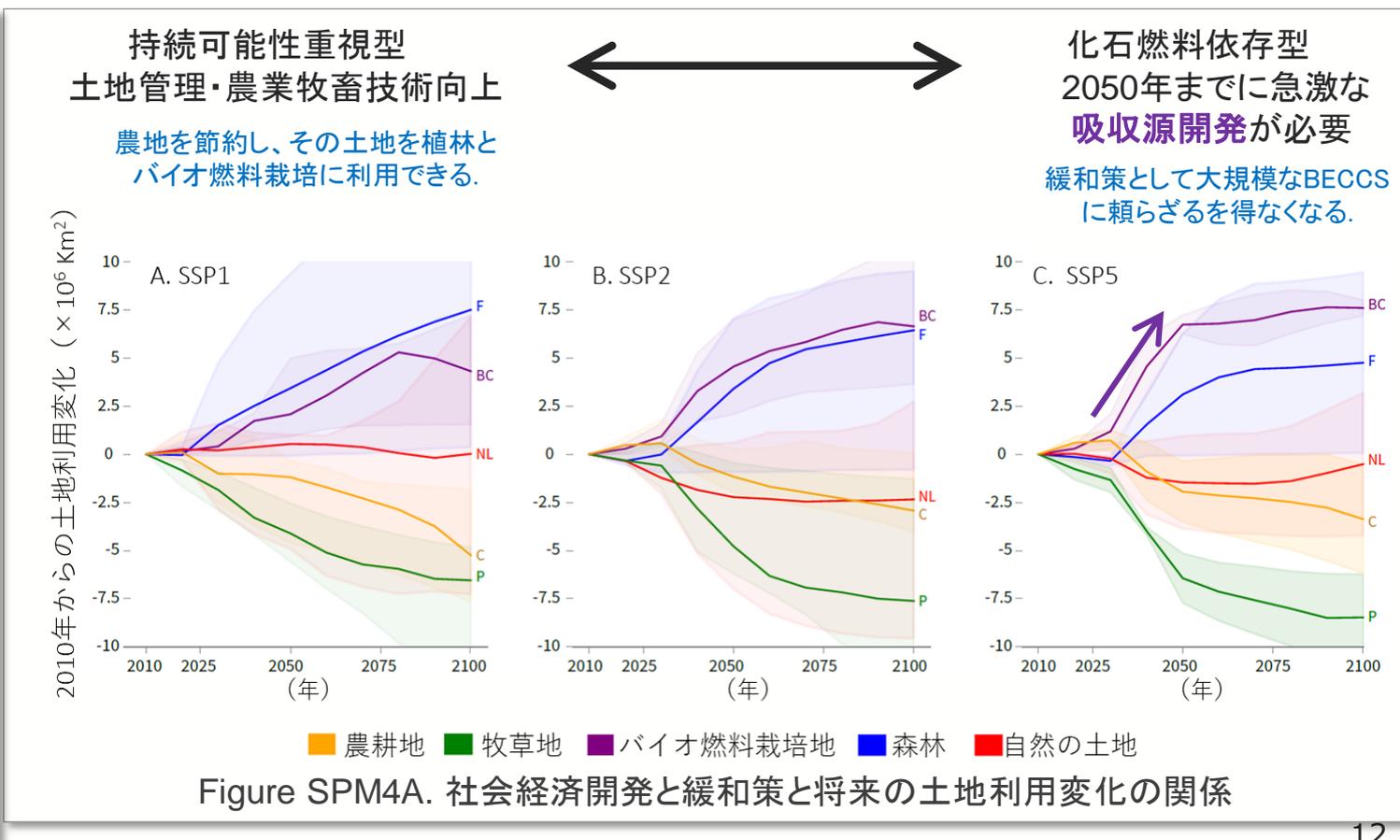
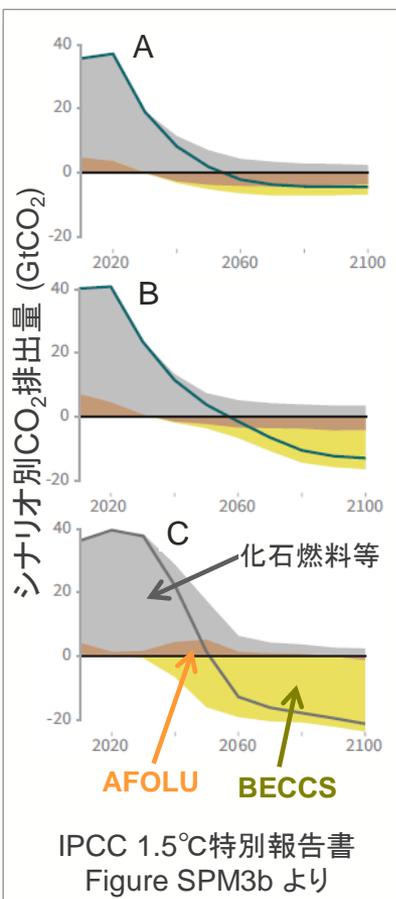
### SSP (Shared Socioeconomic Pathways)

人口・経済成長・技術進展・消費嗜好・技術の社会的受容性等が異なるケースを想定して作成された社会経済シナリオ



# 将来の気温上昇を1.5°Cまでに抑えるためのシナリオ

- ・1.5°C目標の達成には人為的な温室効果ガス排出の急速な削減が第一
- ・新規植林、BECCS(バイオ燃料利用とCO<sub>2</sub>回収固定)も必須
- ・農業生産性の向上、食料システムの改良も最大限必要



パリ協定の長期目標達成には、第一に温室効果ガスの人為排出を大幅削減する野心的な取組が必須かつ急務。排出削減の先送りは非常に高いコストとリスクを伴う。

1.5°C目標の達成には、森林減少の防止と新規植林、バイオマスエネルギーやネガティブエミッションの活用も想定されている。

ただし吸収源拡大には 生産-流通-消費-廃棄プロセス全体の低炭素化、生産地の炭素ストック保全、食料安全保障・生物多様性・地域住民への影響が十分に少ないこと、などの条件をクリアすることが必要。

全ての規模における、政策・制度・ガバナンスシステムの適切な設計が必要

● 持続可能な森林管理による森林の炭素ストックの維持(※)及び強化が重要

※ 森林減少・劣化・火災の防止、木材製品の長期利用を含む

※ 温室効果ガス削減効果は大きい:  $0.4\sim 5.8\text{GtCO}_2\text{e}/\text{年}$  (高い確信度)

- ✓ バイオマスエネルギー用のバイオマス生産及び利用は、土地劣化、食料不安、経路における排出量増加を生じ得る。
- ✓ バイオマスの残渣及び有機廃棄物の利用は土地利用圧を緩和し得るが、残渣の量には限界がある。
- ✓ 本来土壌に残される残渣の除去による土壌劣化は防ぐ必要がある。

● 土地利用のゾーニングや統合的な景観計画(生態系保全、地域への影響評価)

● 規制や刺激策(生態系サービスへの支払いなど)

● 自主的または説得的手段(持続可能な生産のための基準や認証)

# カーボンニュートラル実現に向けての 世界の森林の吸収拡大にかかわる 課題とは

1. 食料・水・生態系と調和する気候変動対策とは  
(IPCC土地関係特別報告書より)
2. 世界の森林による二酸化炭素吸収の現状  
(二酸化炭素吸収量の現地観測)

国立環境研究所 地球システム領域

さいぐさ のぶこ  
三枝 信子



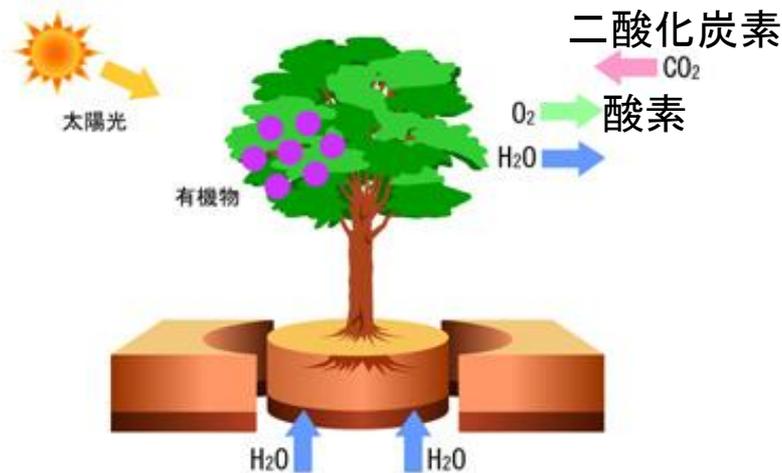
国立環境研究所 富士北麓森林炭素収支  
モニタリングサイト 遠景

# 森林のCO<sub>2</sub>吸収・放出のしくみ

森林のCO<sub>2</sub>収支(森林による正味吸収量)  
＝総光合成量－総呼吸量

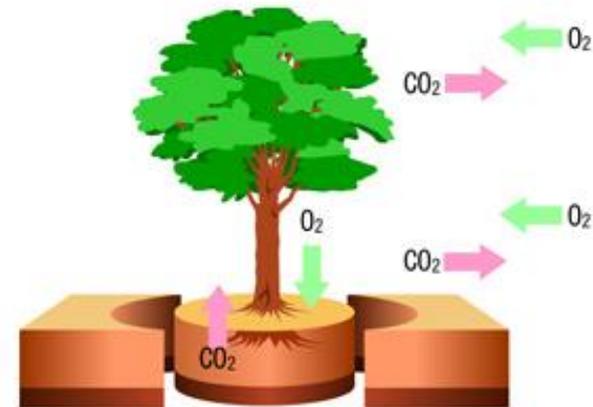
(昼間のみ)

植物は光合成によりCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>を放出します.



# 森林のCO<sub>2</sub>収支の測定法

長期トレンドと変動成分の両者をとらえることで、より高度な精度検証と変動メカニズム解明が可能になります

## 毎木調査に基づく方法



- ・幹の直径成長から樹体への炭素蓄積量を測定.
- ・土壌有機物分解によるCO<sub>2</sub>放出量を差引く.

## 微気象学的方法



- ・風速やCO<sub>2</sub>濃度の測定から大気乱流によるCO<sub>2</sub>の輸送量(フラックス)を算出.

# 森林のCO<sub>2</sub>収支の測定法

長期トレンドと変動成分の両者をとらえることで、  
より高度な精度検証と変動メカニズム解明が可能になります

## 毎木調査に基づく方法



1～数年ごとに  
算出



長期積分値が正確

## 微気象学的方法



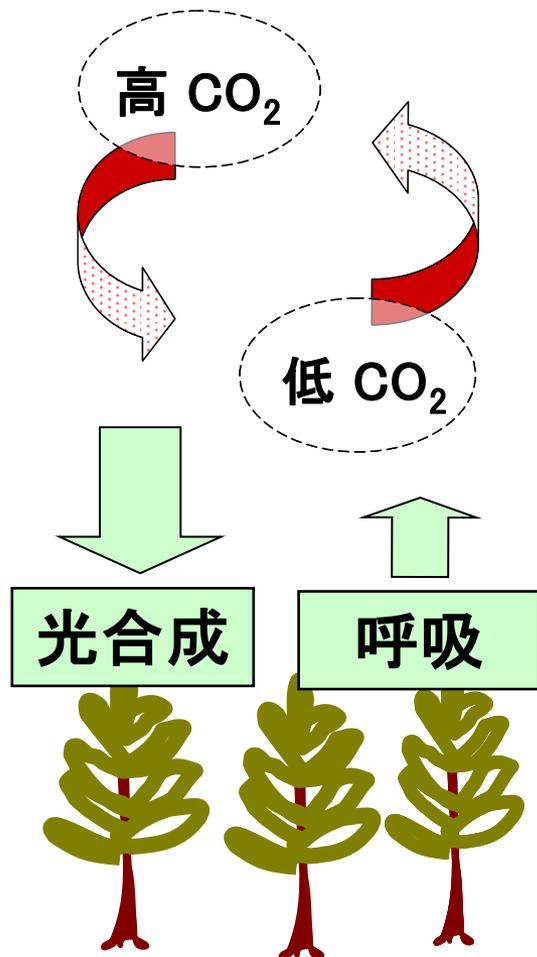
30～60分ごとに  
算出



変動解析が得意

定から  
算出.

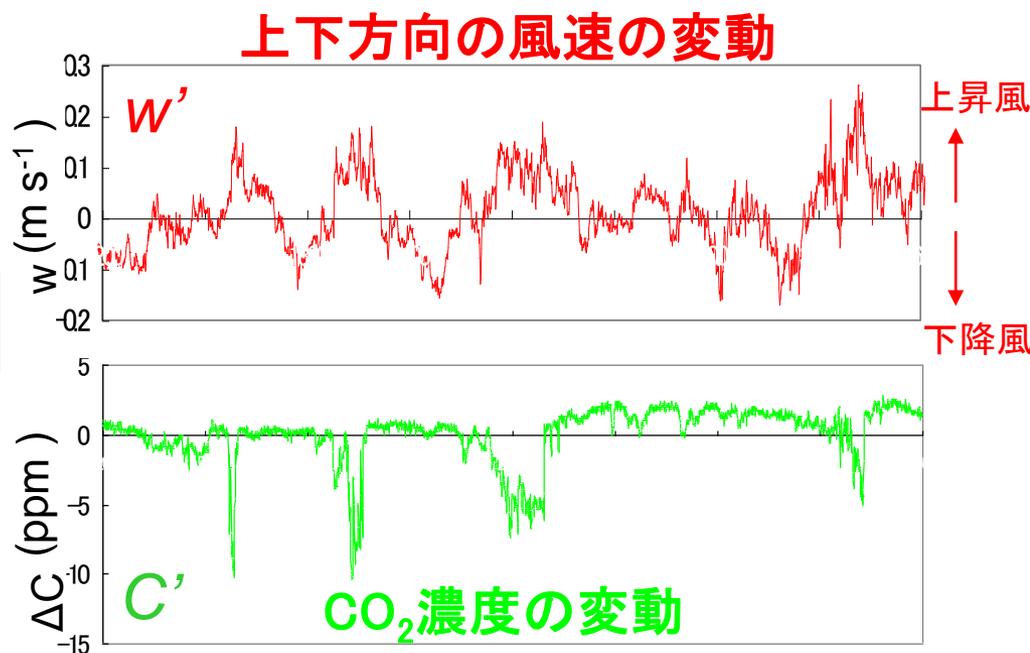
# 微気象学的方法(渦相関法)の測定原理



日中、CO<sub>2</sub>吸収により森林に近い空気のCO<sub>2</sub>濃度が低下

鉛直風速と濃度の時間変動から  
CO<sub>2</sub>の乱流輸送量を算出

$$F_c = -\overline{w'c'} + \text{補正項}$$



4分

森林上の風速とCO<sub>2</sub>濃度の時系列(夏の日中)

# 微気象学的方法に基づく森林CO<sub>2</sub>収支の算出法

**NEE** 純生態系CO<sub>2</sub>交換量

$$= F_c + \Delta S$$

**NEP** 純生態系生産量(正味吸収)

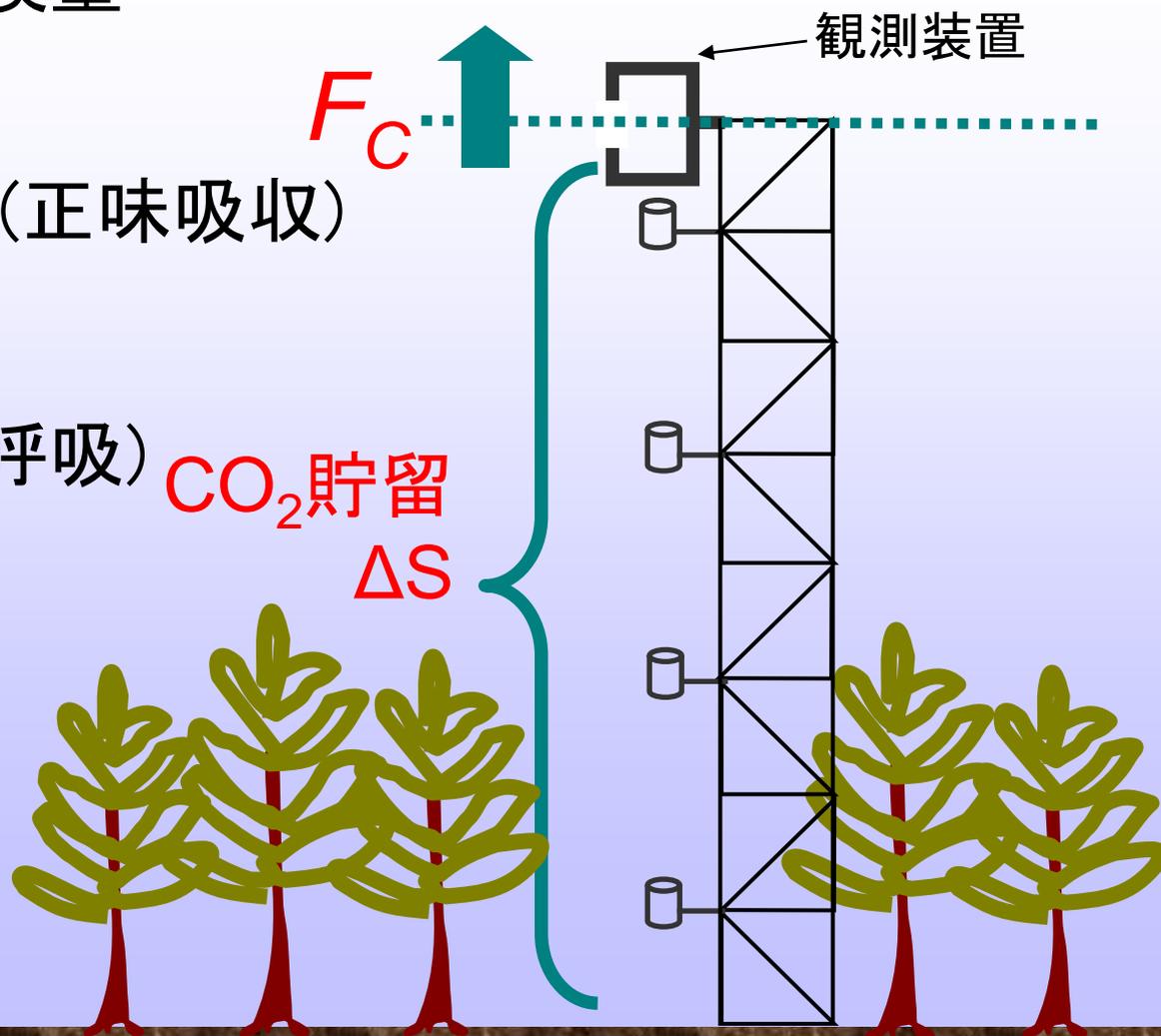
$$\approx -NEE$$

**RE** 生態系呼吸量(総呼吸)

$$\approx \text{夜間NEE}$$

**GPP** 総一次生産量  
(総光合成)

$$= NEP + RE$$



# 渦相関法の主要測器

超音波風速計



Open-path 型  
赤外分析計

Closed-path 型  
赤外分析計

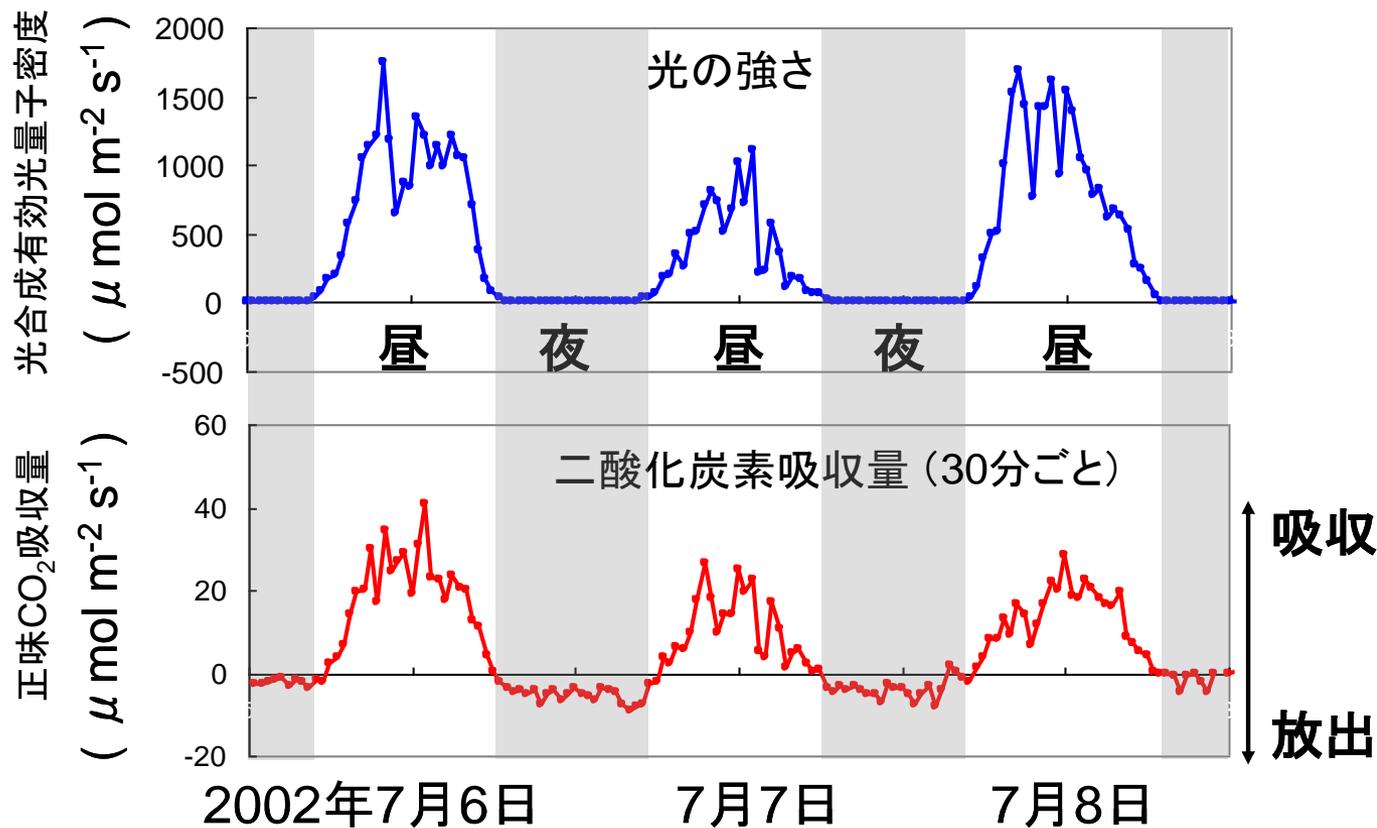
重要な性能

	OP	CL
-高周波応答	○	
-野外での安定性		○
-自動較正		○
-消費電力	○	



# CO<sub>2</sub>収支の時間変化をつくる要因

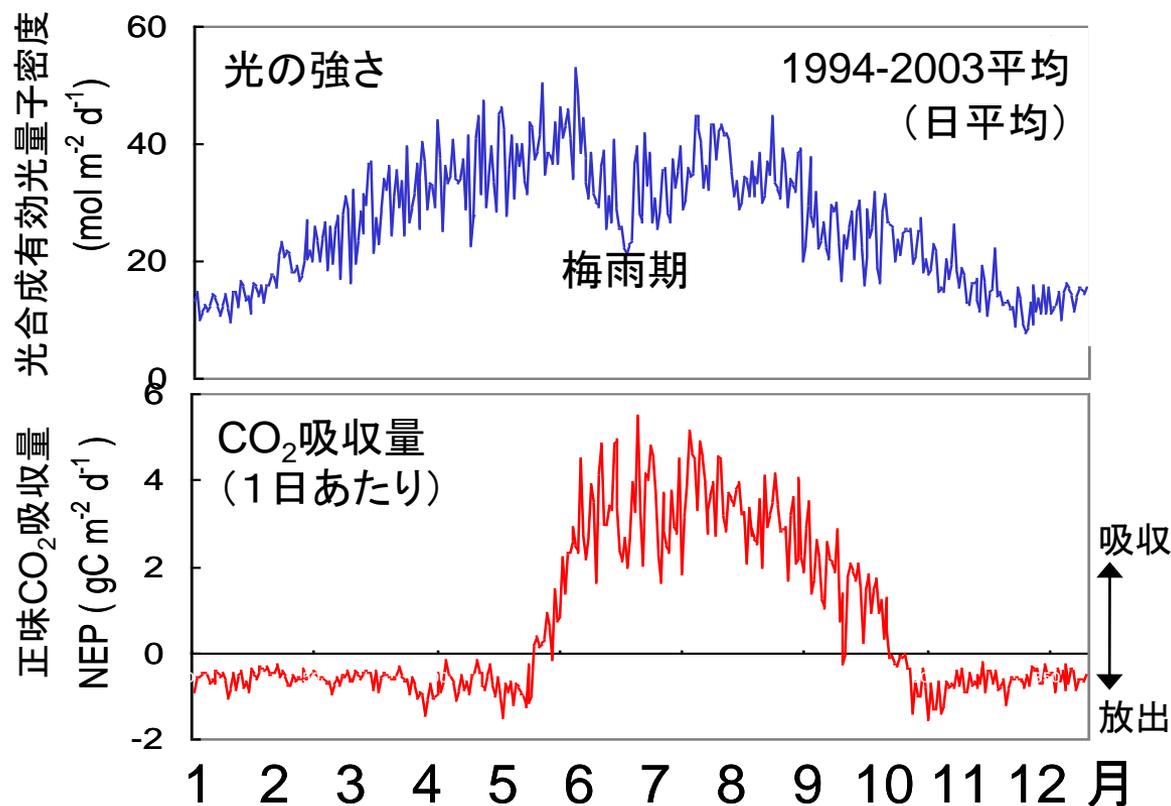
日変化: 昼間は光合成によりCO<sub>2</sub>を吸収,  
夜間は呼吸により放出します。



(岐阜県のミズナラ林の例)

# CO<sub>2</sub>収支の時間変化をつくる要因

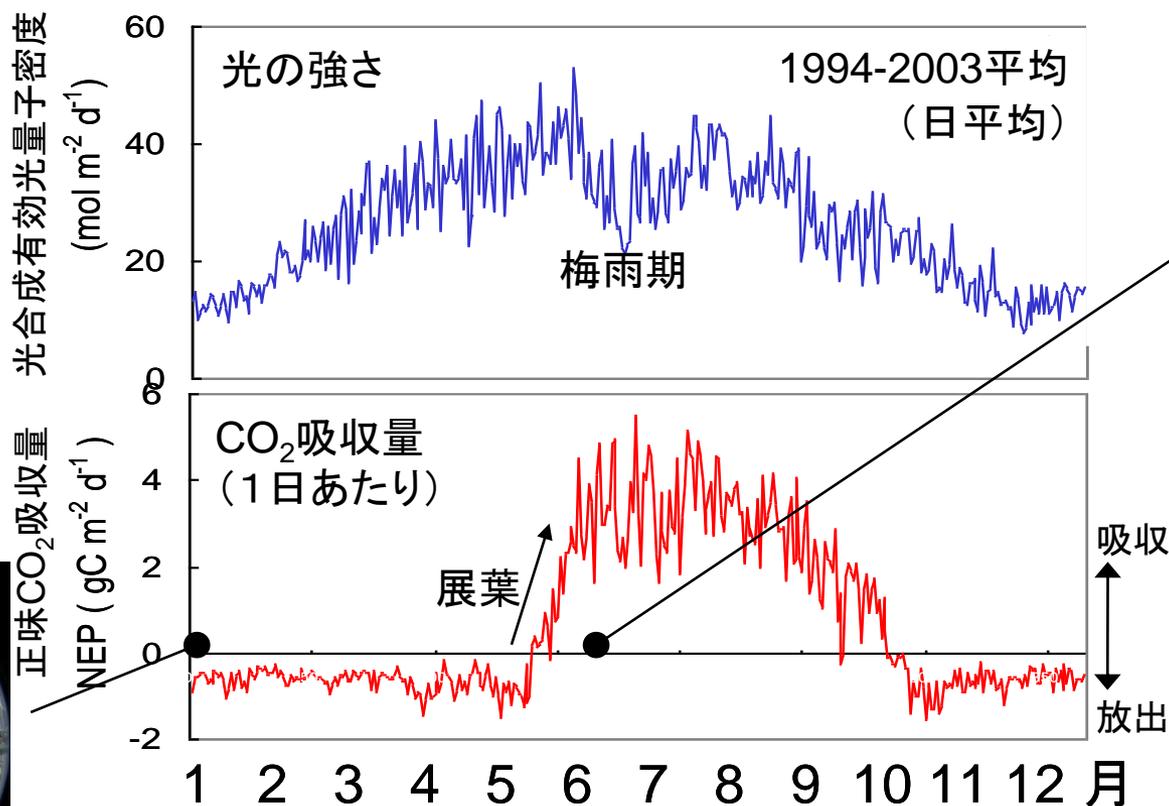
季節変化：夏は吸収，冬は放出します。



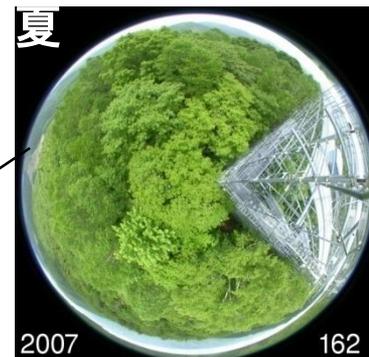
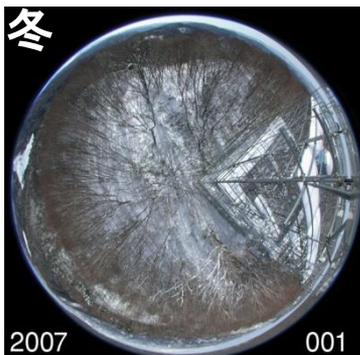
(岐阜県のみズナラ林の例)

# CO<sub>2</sub>収支の時間変化をつくる要因

季節変化：夏は吸収，冬は放出します。



観測タワー  
の上から森  
林を写した  
写真

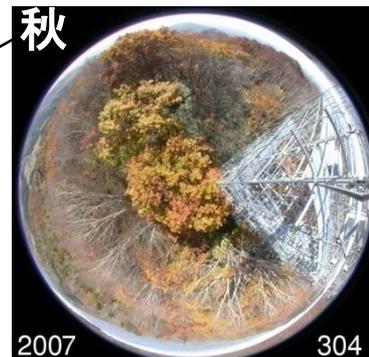
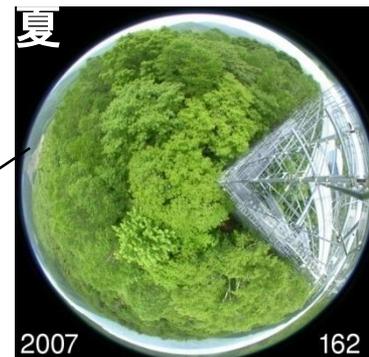
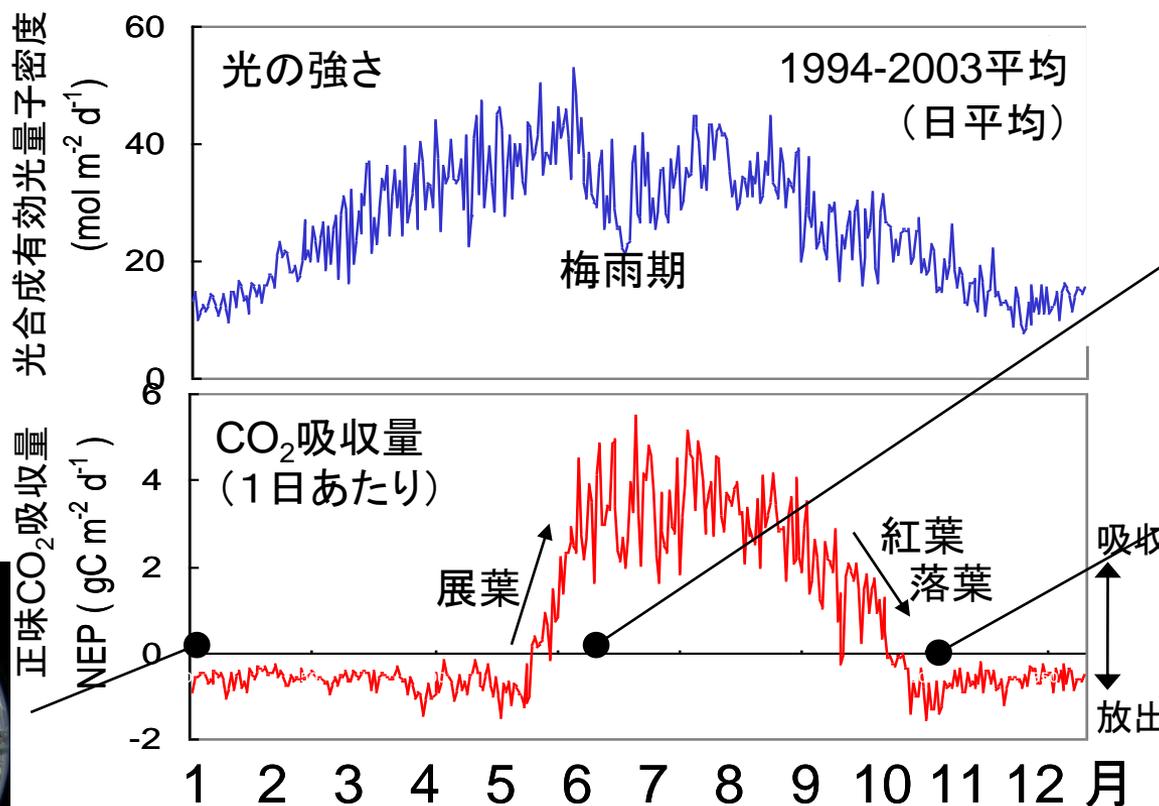
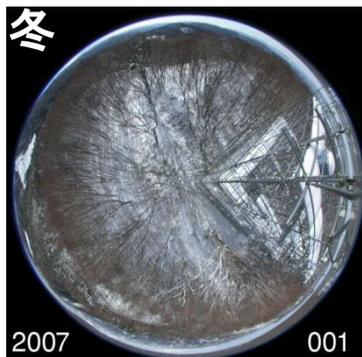


(岐阜県のみズナラ林の例)

# CO<sub>2</sub>収支の時間変化をつくる要因

季節変化：夏は吸収，冬は放出します。

観測タワー  
の上から森  
林を写した  
写真



(岐阜県のみずナラ林の例)

# CO<sub>2</sub>収支の年々変化をつくる要因



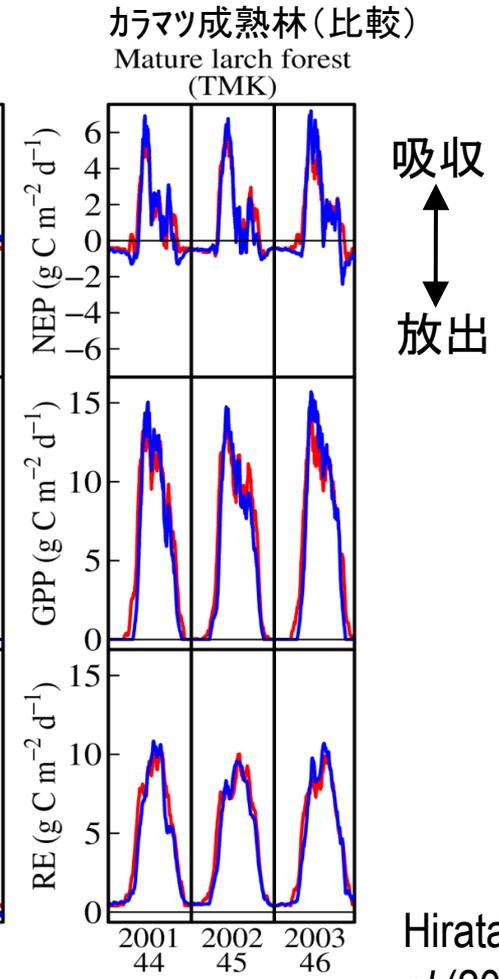
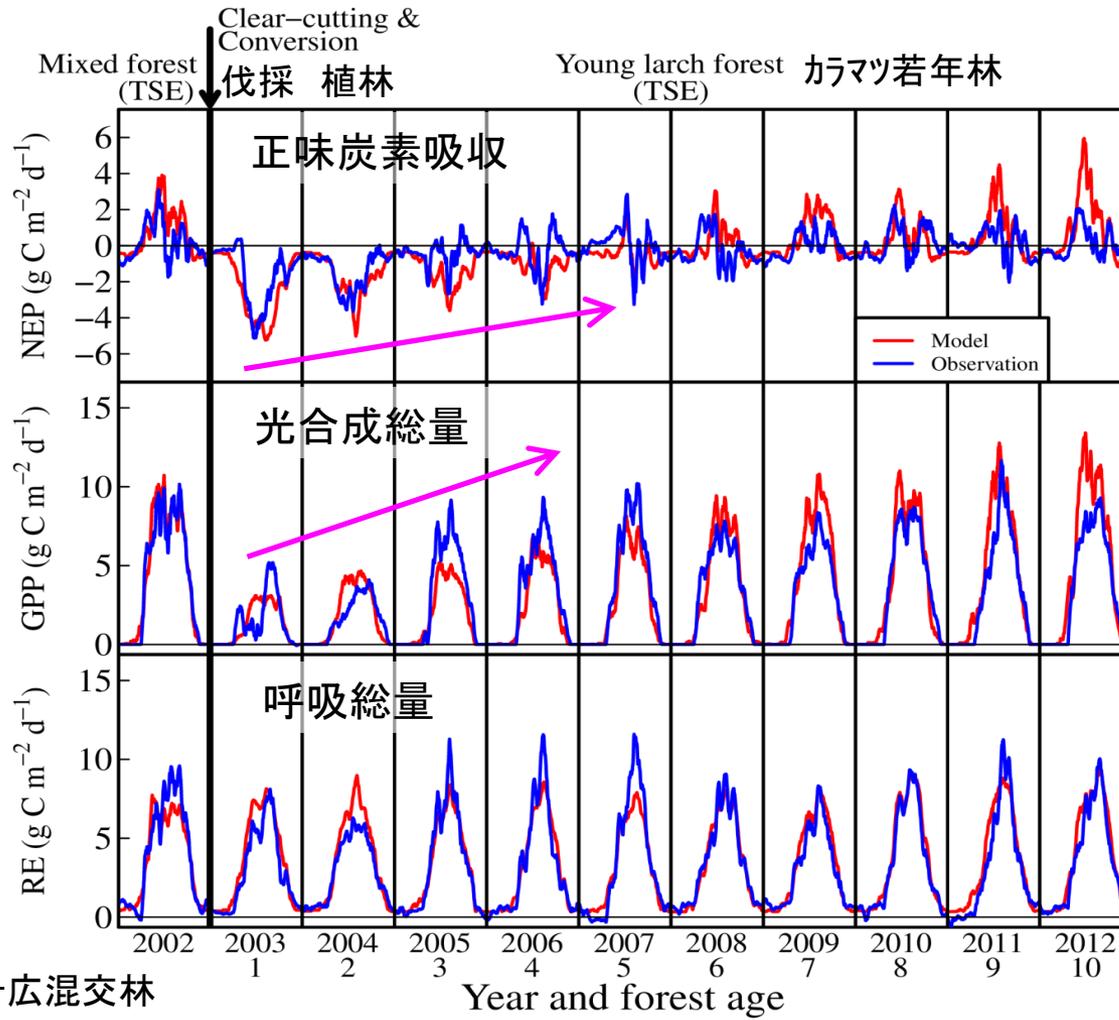
成熟林と伐採・植林後の森林でCO<sub>2</sub>収支を比較します。



- ・北海道大学 北方生物圏FSC
- ・国環研 地球環境研究センター
- ・北海道電力(株) 総合研究所

# 大規模攪乱(伐採・植林)の影響評価

伐採直後 放出大、植林後7年で 吸収 > 放出、伐採残渣が後年の炭素収支に影響



伐採前: 針広混交林

伐採 植林

カラマツ若年林

カラマツ成熟林(比較)

Hirata et al.(2014)  
Biogeo-  
sciences

# アジアの各種生態系の炭素収支の季節変化

各種生態系の炭素収支の季節変化

落葉針葉 (カラマツ)

総光合成量  
総呼吸量  
正味交換量

炭素吸収

落葉広葉林

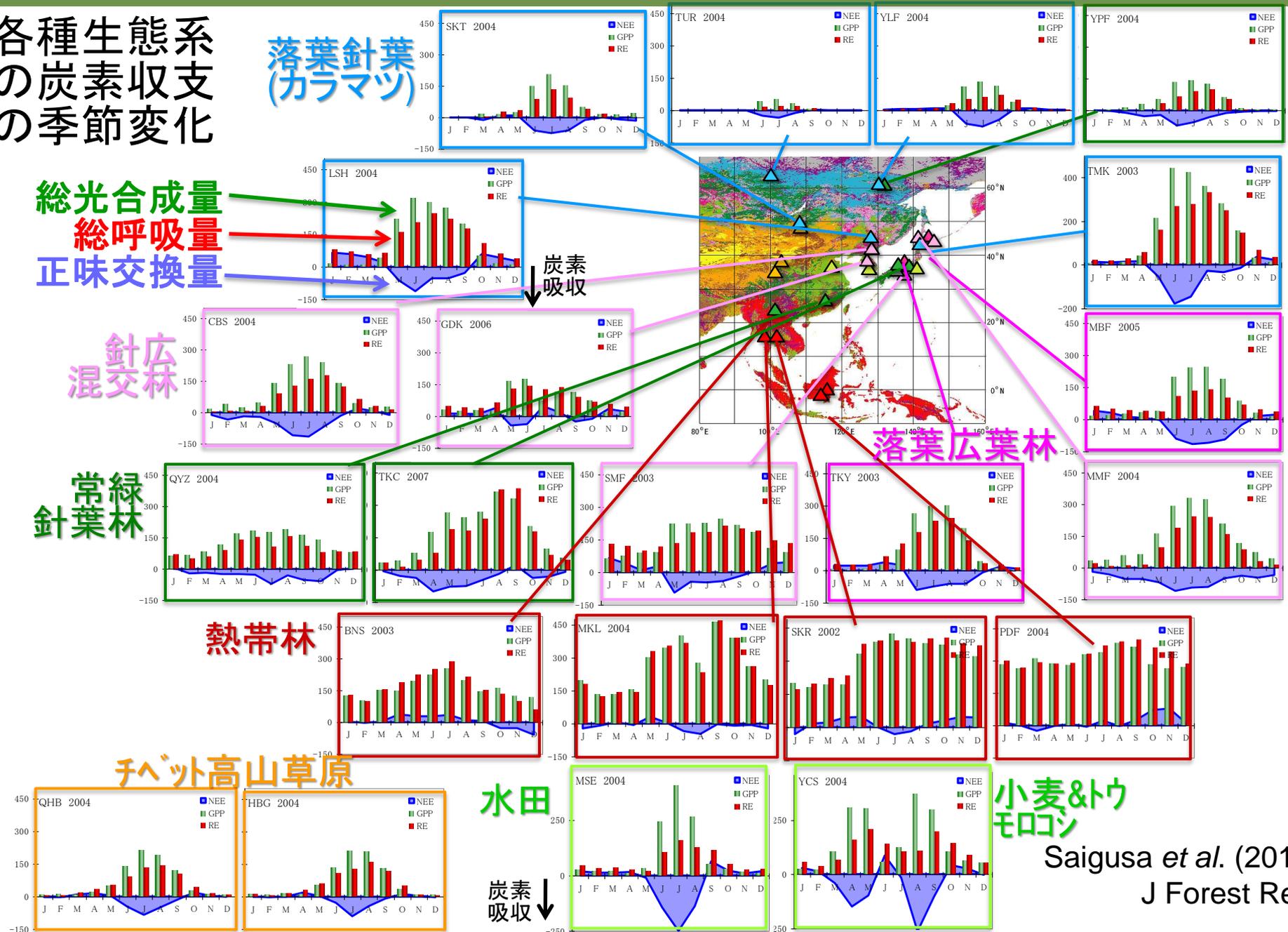
常緑針葉林

熱帯林

チベット高山草原

水田

小麦&トウモロコシ



Saigusa et al. (2013)

J Forest Res.

いろいろな森林（岐阜県高山市 カンバ・ミズナラ二次林）



いろいろな森林（北海道天塩郡 天然の針広混交林とカラマツ植林地）

カラマツ植林地

観測タワー

2003年針広混交林を伐採・カラマツ植林（北大天塩研究林）

いろいろな森林（山梨県富士吉田市・カラマツ人工林）



いろいろな森林（山梨県富士吉田市・カラマツ人工林）



# いろいろな森林（北海道苫小牧市・カラマツ人工林）



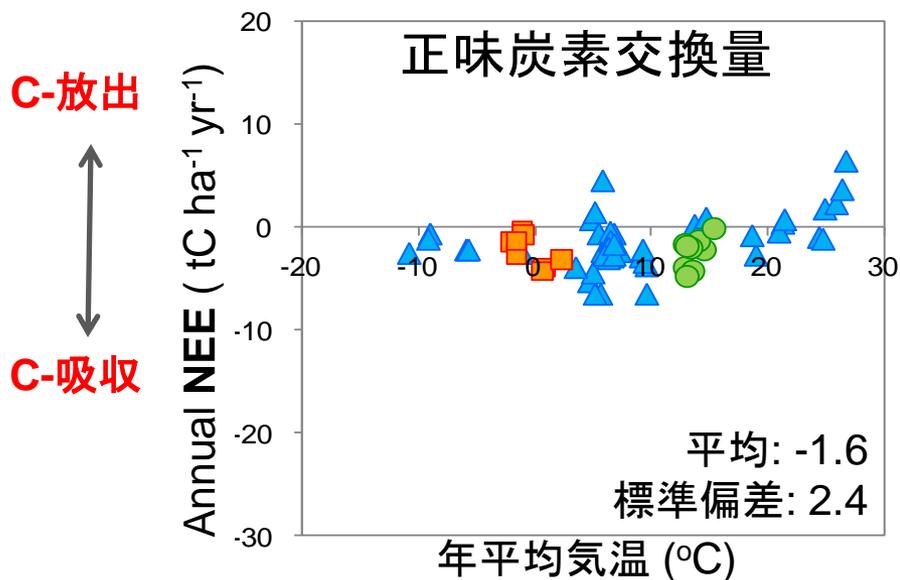
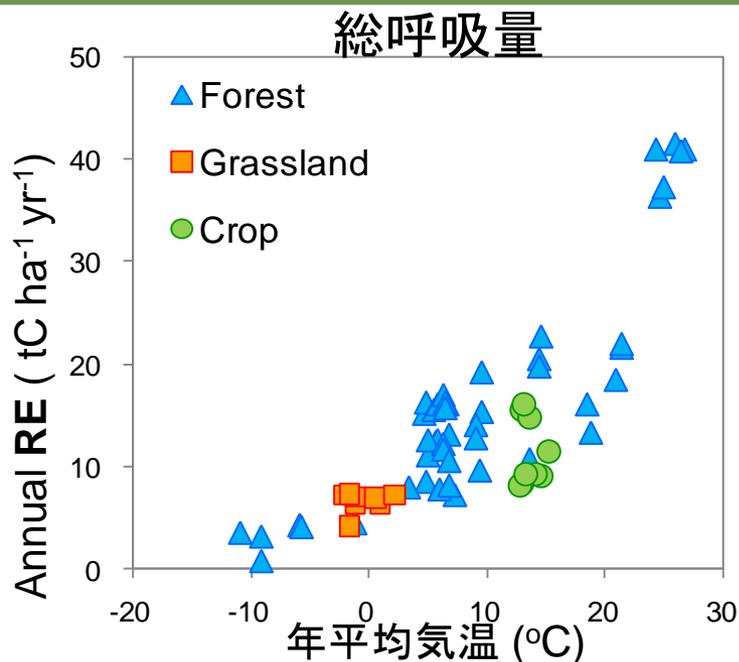
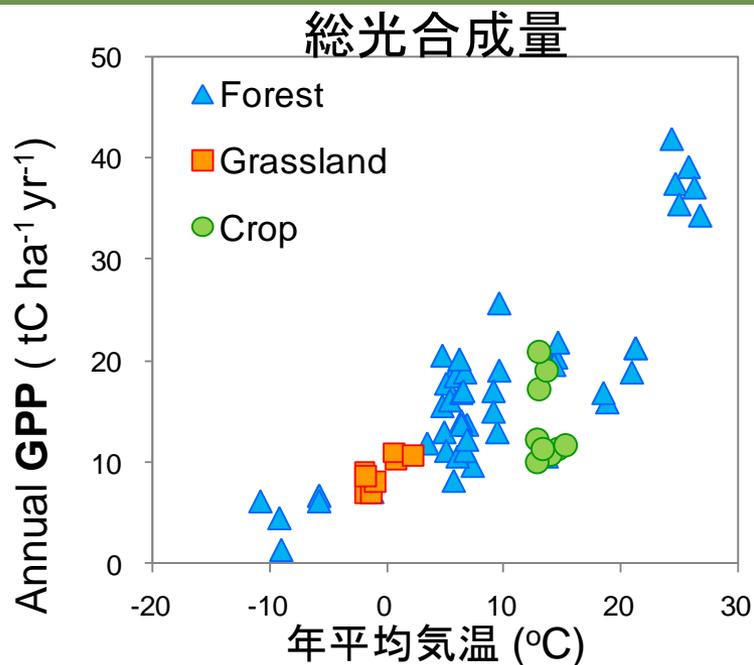
いろいろな森林 (ロシア中央シベリア・カラマツ天然林)



いろいろな森林（マレーシアサラワク州・熱帯林）



# アジアの各種生態系の年間炭素収支



● 年間の総光合成量と総呼吸量は、年平均気温と正の相関あり。

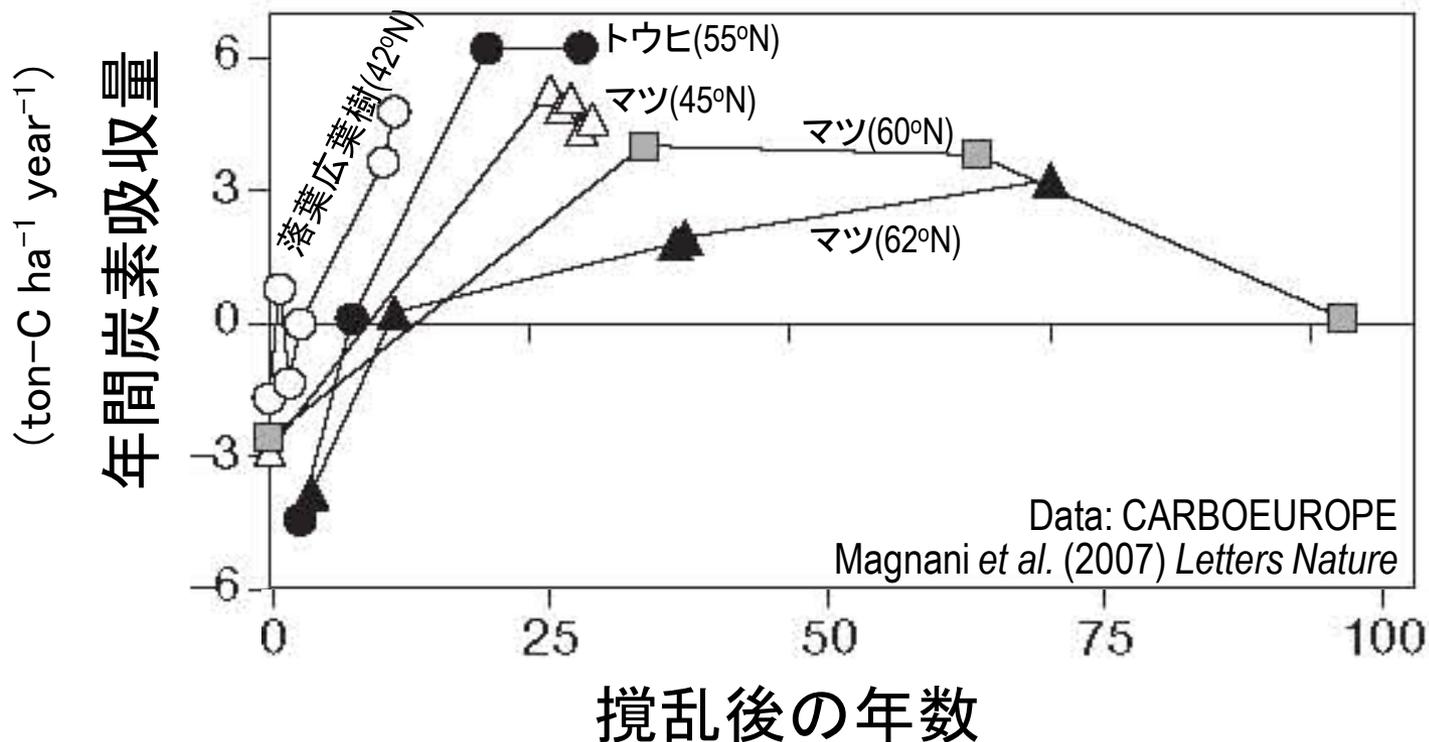
● 正味炭素交換は、平均すると弱い吸収。中緯度と熱帯で吸収から放出まで大きな変化幅をもつ。

● 生態系タイプの違い(森林・草原・農耕地)は年間炭素収支の温度依存性を大きく変えることはない。

# 攪乱からの回復に伴うCO<sub>2</sub>収支

- 森林伐採や火災の後、樹木の成長に伴いCO<sub>2</sub>吸収量は変化する

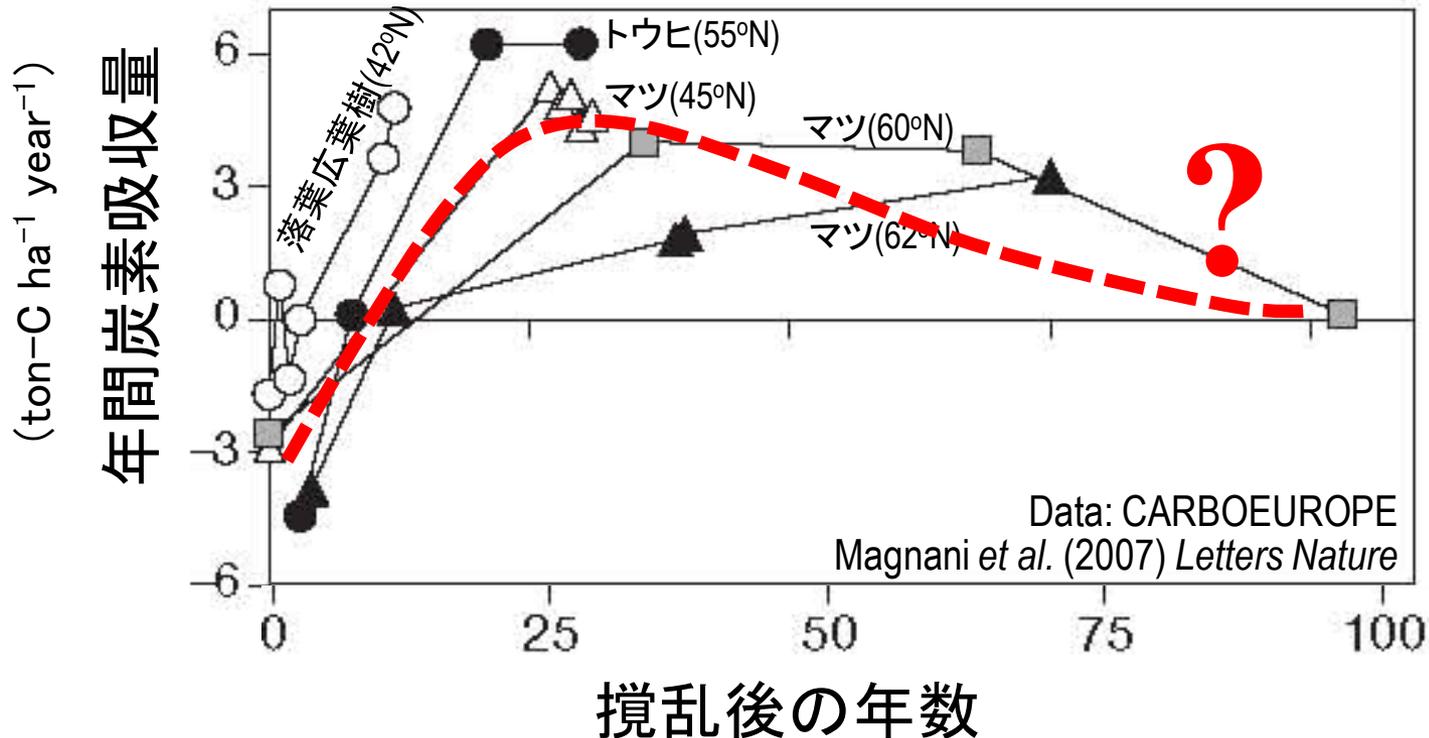
攪乱後の年数と年炭素吸収量の関係(欧州の例)



# 攪乱からの回復に伴うCO<sub>2</sub>収支

- 森林伐採や火災の後、樹木の成長に伴いCO<sub>2</sub>吸収量は変化する

攪乱後の年数と年炭素吸収量の関係(欧州の例)

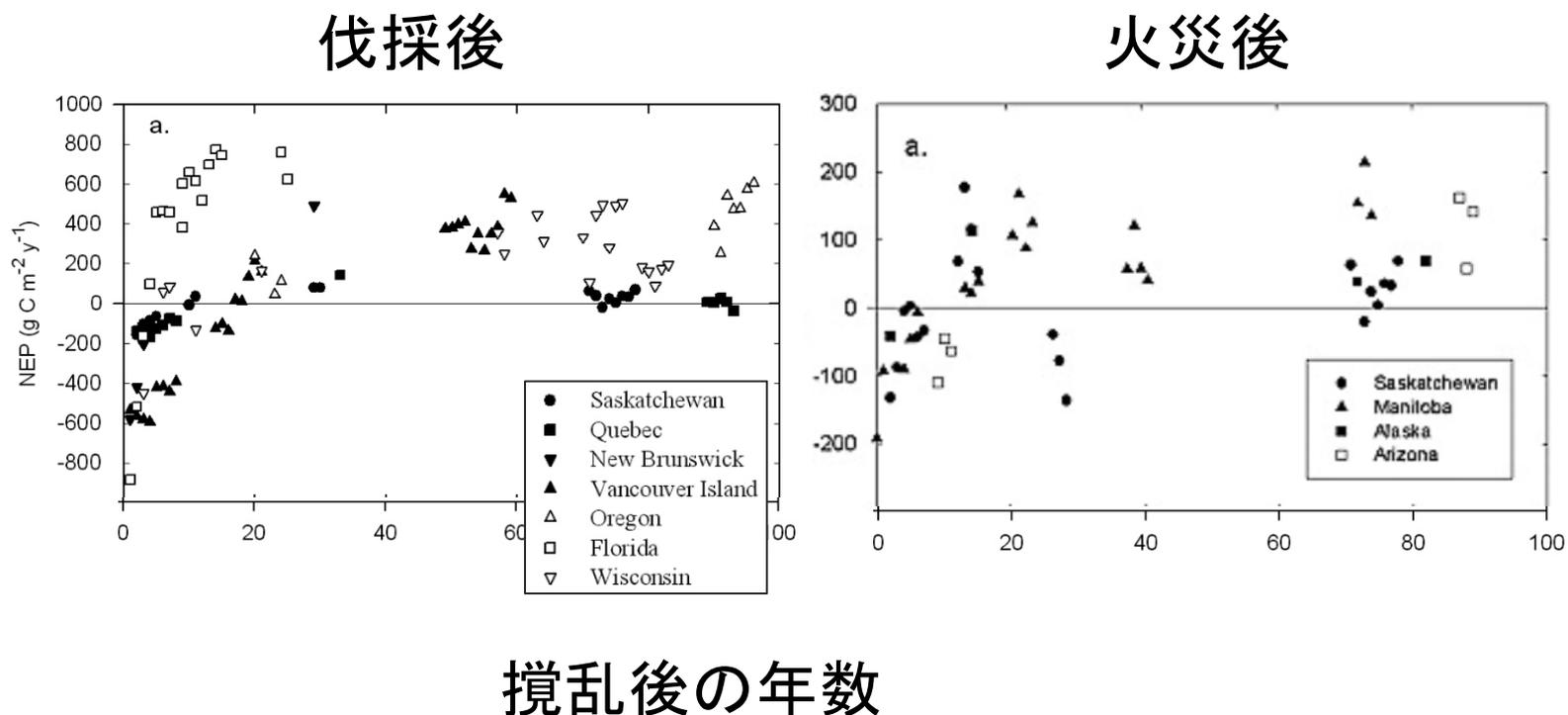


# 攪乱からの回復に伴うCO<sub>2</sub>収支

- 森林伐採や火災の後、樹木の成長に伴いCO<sub>2</sub>吸収量は変化する

攪乱後の年数と年炭素吸収量の関係(北米の例)

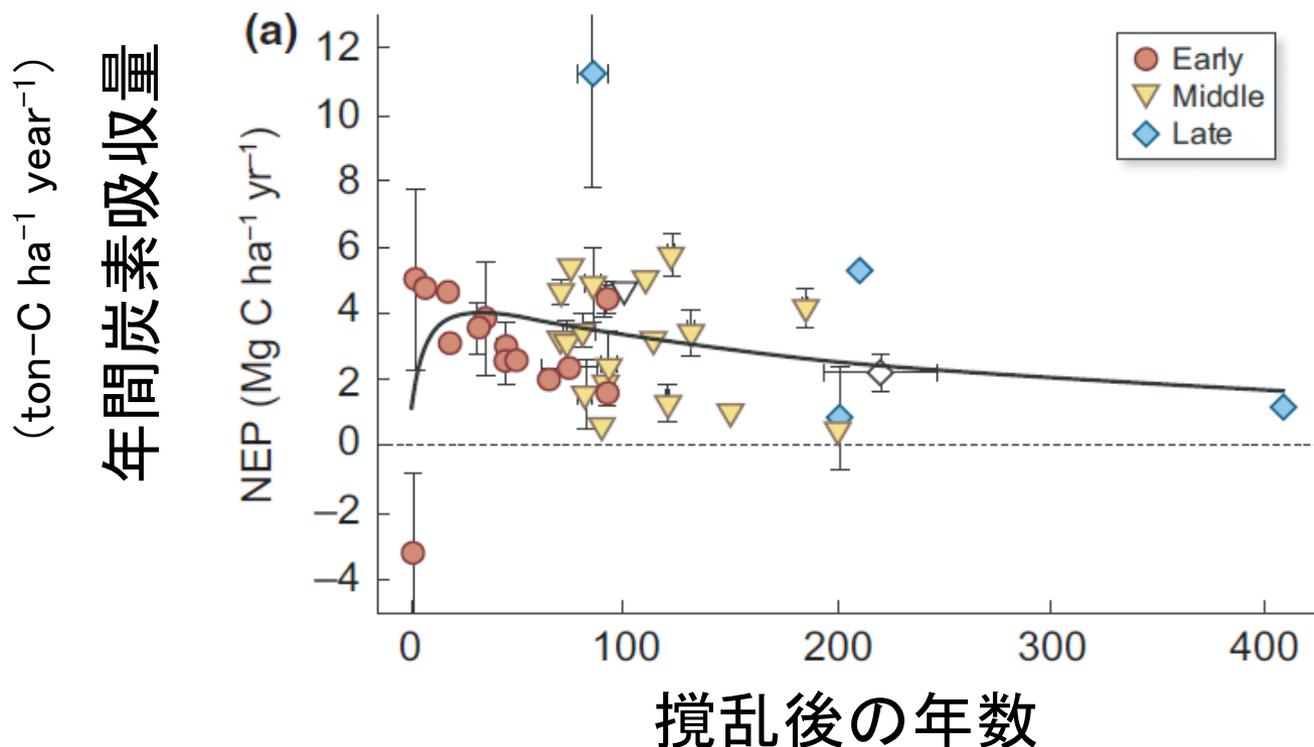
( x100 ton-C ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> )  
年間炭素吸収量



# 攪乱からの回復に伴うCO<sub>2</sub>収支

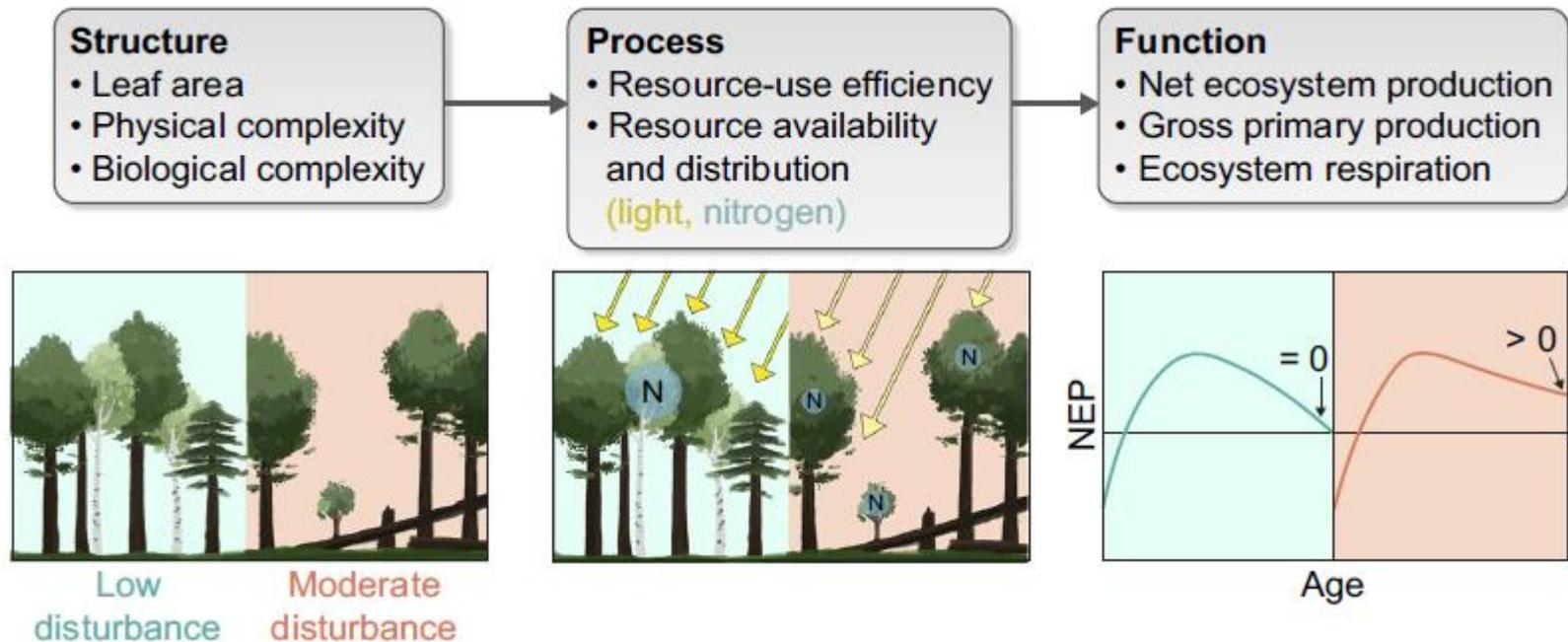
- 森林伐採や火災の後、樹木の成長に伴いCO<sub>2</sub>吸収量は変化する

攪乱後の年数と年炭素吸収量の関係(北米の例)



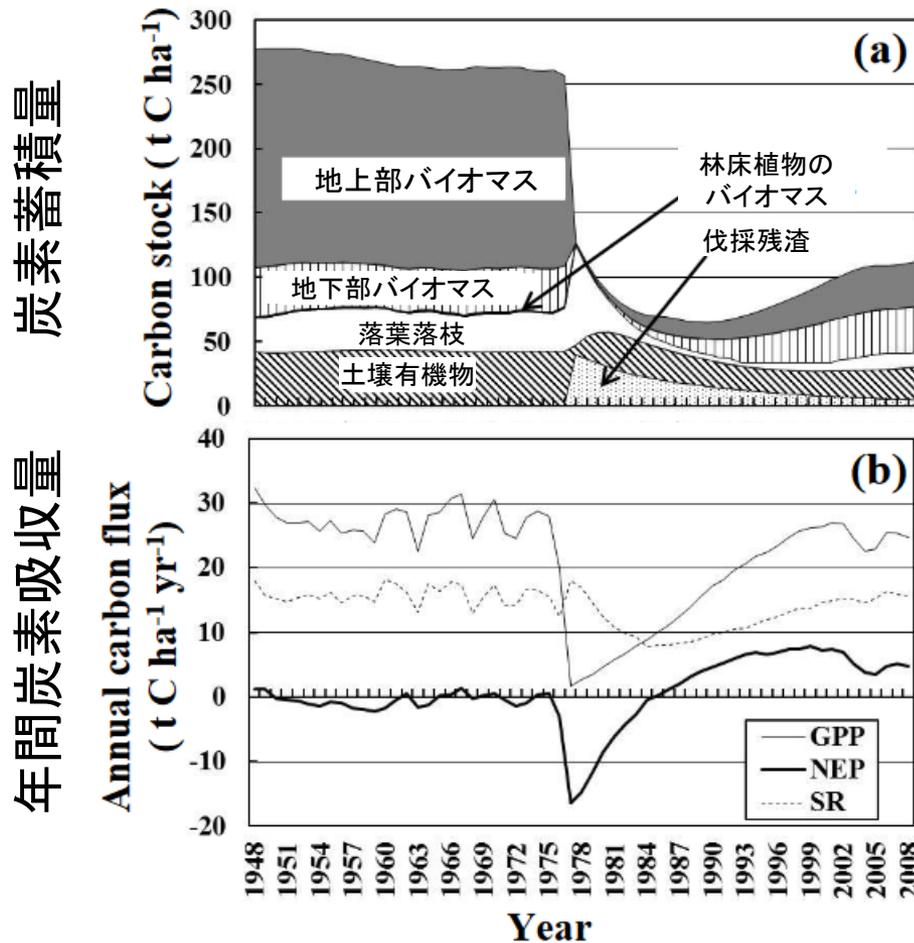
# 攪乱からの回復に伴うCO<sub>2</sub>収支

- 年齢の高い森林でも中規模のかく乱が入ることにより、光や窒素の利用効率が高まることにより正味CO<sub>2</sub>吸収を維持している可能性がある。



# 攪乱からの回復に伴うCO<sub>2</sub>収支

- マレーシア熱帯林をオイルパーム林に転換すると正味CO<sub>2</sub>吸収量は10年程度で復活するが、炭素蓄積量の復旧には時間を要する。



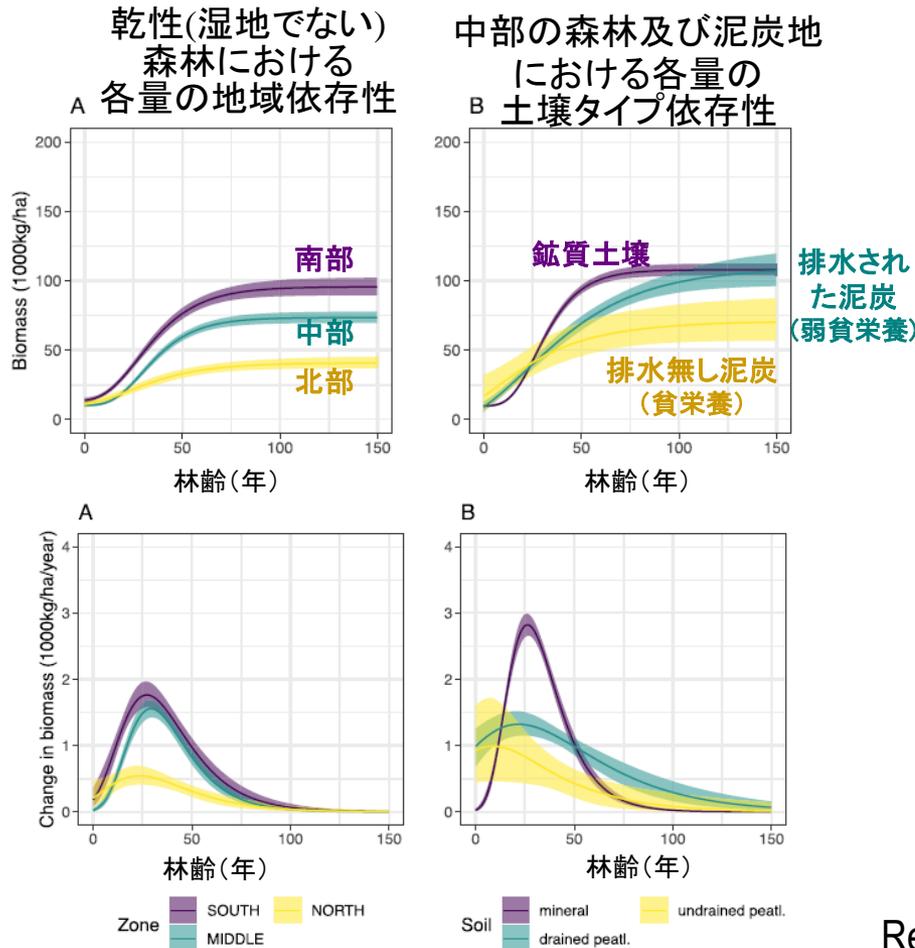
1976年に熱帯林を伐採しオイルパーム林へ転換したことを想定した炭素蓄積量と正味吸収量の経年変化(観測データに基づき検証された陸域生態系モデルによる計算結果).

# 攪乱からの回復に伴うCO<sub>2</sub>収支

## ●フィンランドの南部・中部・北部の人工林における林齢とバイオマスとの関係(多数の森林インベントリデータより)

バイオマス

バイオマスの変化量



- ✓ 最大バイオマスとバイオマスの変化量には地域(気候帯)や土壌タイプが影響する。
- ✓ バイオマス増加率のピークは7~32年頃に現れる。
- ✓ バイオマスがその最大値の95%に達する時期は63~147年の幅をもつ。

# カーボンニュートラル実現に向けての 世界の森林の吸収拡大にかかわる 課題とは

1. 食料・水・生態系と調和する気候変動対策とは  
(IPCC土地関係特別報告書より)
2. 世界の森林による二酸化炭素吸収の現状  
(二酸化炭素吸収量の現地観測)

国立環境研究所 地球システム領域

さいぐさ のぶこ  
三枝 信子



国立環境研究所 富士北麓森林炭素収支  
モニタリングサイト 遠景