



# モンゴル半乾燥域における 陸面プロセスの観測とモデル研究

筑波大学陸域環境研究センター

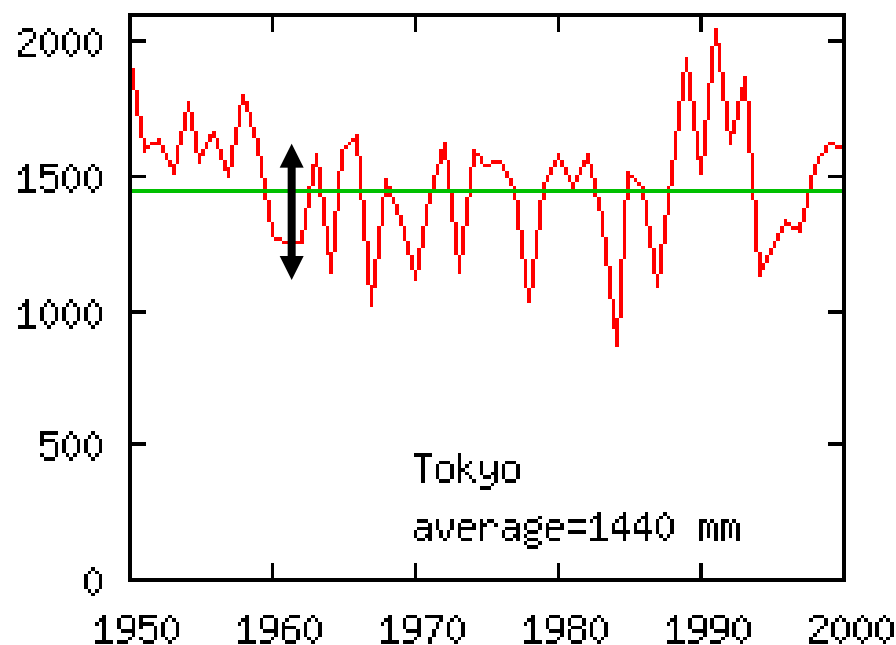
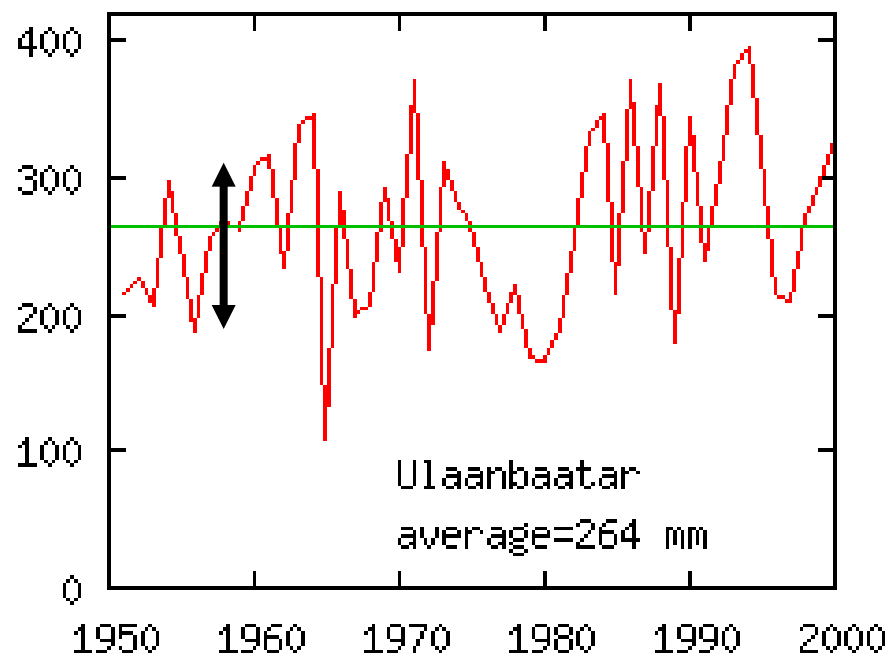
浅沼 順

筑波大学環境科学研究科修士課程

福井秀典



# 乾燥・半乾燥地域の水循環：



ウランバートル

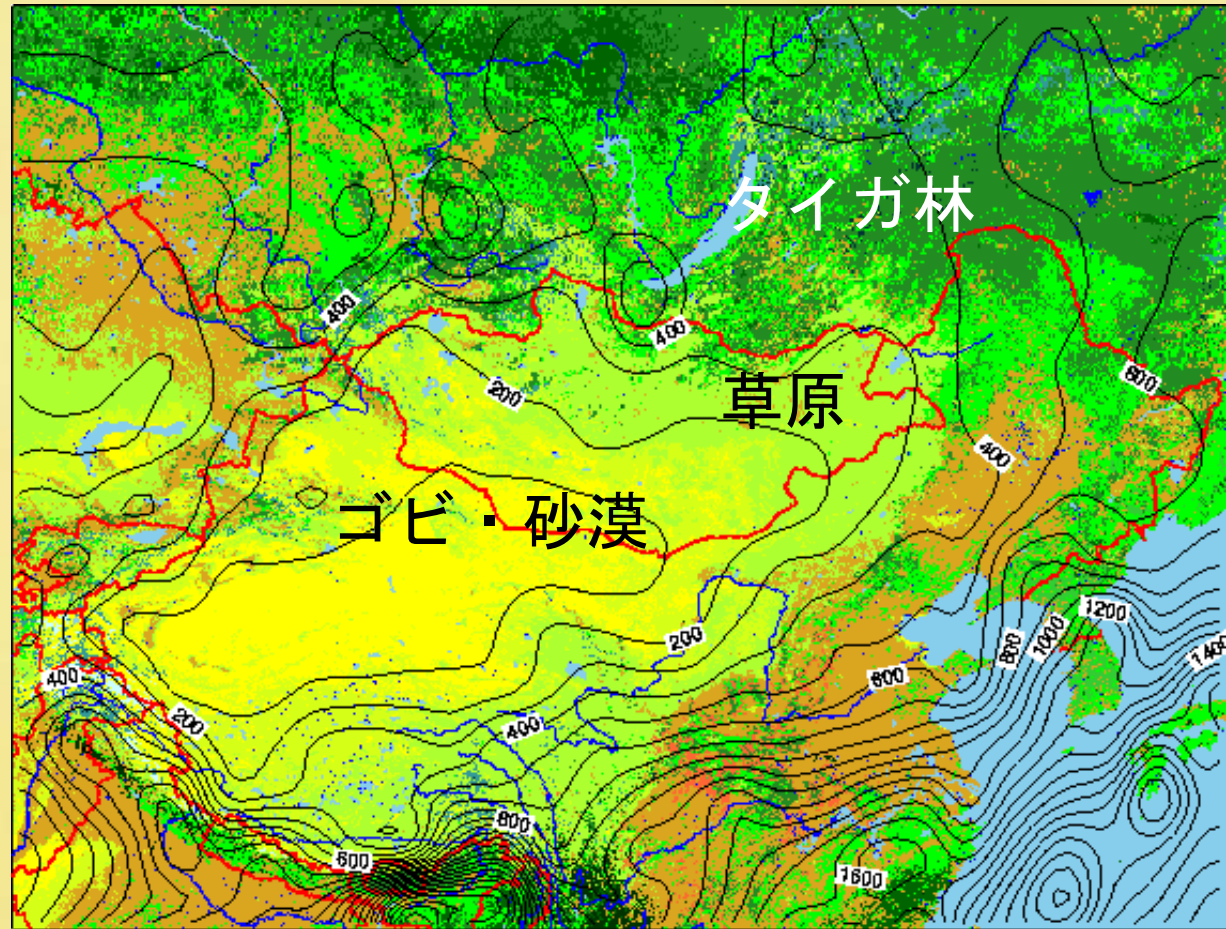
東京

降水量の年々変動がその絶対値に比較して大きい。  
→乾燥気候の特色



# 北東アジアの乾燥・半乾燥地域

- ✿ 年降水量：  
100－400mm  
→乾燥・半乾燥気候
- ✿ 南北に強い経度分布



カラー：植生，コンター：年降水量(mm)

出展： 植生：USGS-GLCC, 降水量：CMAP(1979-2006)





# 北東アジア乾燥地域における 水文気象研究

## ✧ 特徴：

- ✧ 降水が少ない。年々変動が大きい
- ✧ 寒冷：暖候期が短く、冬季は積雪がある（季節凍土）。
- ✧ 植生が地理的に大きく変化する。

## ✧ ターゲット

- ✧ 降水の年々変動に、水循環がどう反応するか。
- ✧ 植生・土壌が、地表面水・熱収支をどうコントロールしているか？



# CREST-RAISE

(Rangelands Atmosphere-Hydrosphere-Biosphere Interaction Study  
Experiment in Northeastern Asia)

## ❁ 目的

- ❁ 北東アジアエコトーン地域における大気循環・水循環・生態活動の相互作用

## ❁ 期間： 2001-2006年

- ❁ 観測： 2002年- (2003年集中観測)

## ❁ カウンターパート (共同研究者)

- ❁ モンゴル国気象・水文・環境監視庁水文気象局(Institute of Meteorology and Hydrology)

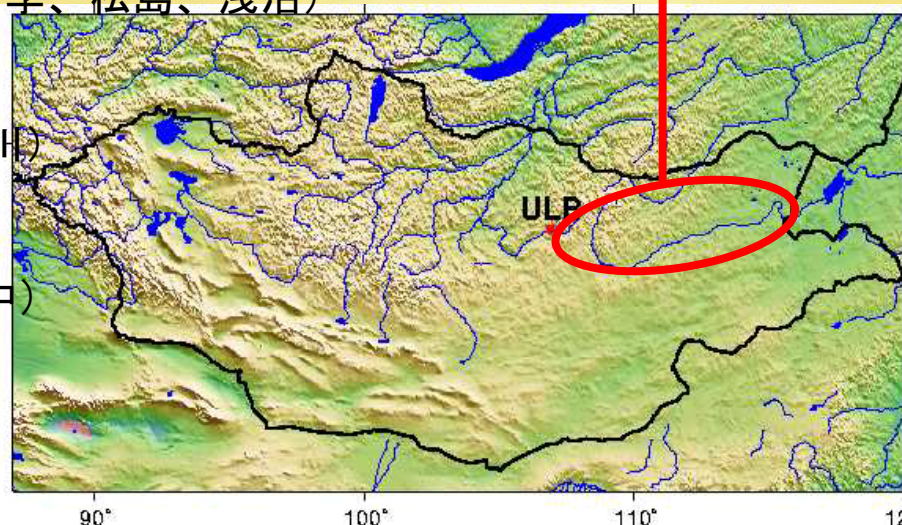
## ❁ 対象地域

- ❁ ヘルレン川流域

## ❁ 主な成果

- ❁ 熱・水・炭素フラックス (小谷、杉田、李、松島、浅沼)
  - 、草原、森林各1サイト、現在も継続中
- ❁ 大気境界層過程 (浅沼)
- ❁ 生態観測(Biomass他)、生態モデル (及川)
- ❁ 降水Climatology(モデル、佐藤、岩崎)
- ❁ 地下水流動過程(辻村)
- ❁ 同位体による水循環トレース(辻村、山中)
- ❁ 水文流出モデル (陸)

ヘルレン川流域

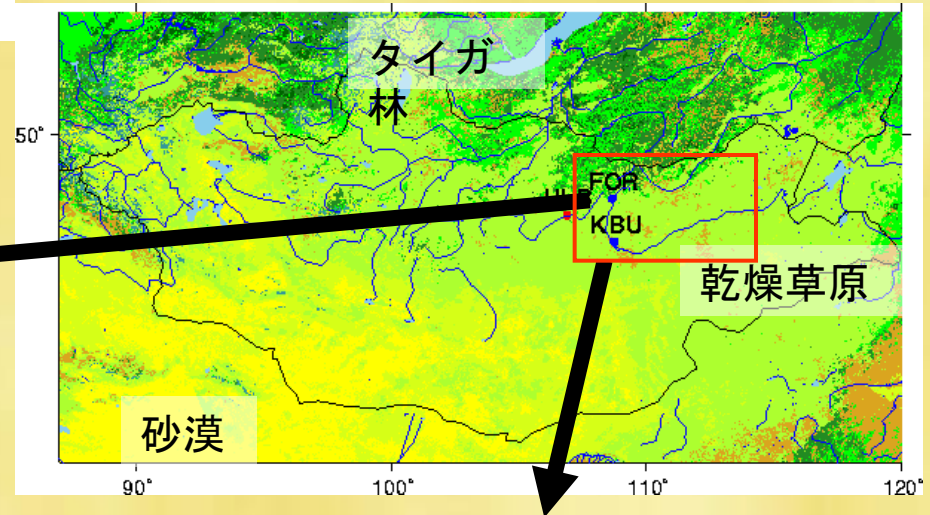






# 観測サイト概要

## 森林サイト(SKT, カラマツ林)



- 放射収支, 熱収支, 水収支, 炭素収支
- 2003年3月より長期運用
- 北東ユーラシア地域最初の高精度観測

## 草原サイト(KBU, 半乾燥ステップ)





**カラマツ林サイト:SKT**





## 条件

- ❁ 寒冷・半乾燥
- ❁ 年平均気温：-2.9℃
- ❁ 年降水量：280mm／年



## 植生

- ❁ シベリアタイガ林の南端
- ❁ カラマツ林
- ❁ 樹齢：70-150年
- ❁ 平均樹高：20m、
- ❁ LAI: 最大2.2-2.7

# Southern Khenti Taiga(SKT)





# Southern Khenti Taiga(SKT)

## 観測概要

- 渦相関法
  - Kaijo SAT-540
  - Licor LI7500
- 放射 4 成分
  - Kipp&Zonen CNR1
- 温湿度
  - Vaisala HMP45D
- 土壌
  - 地温 : Climatec C-PT
  - 水分 : Campbell CS616
  - 伝導熱 : REBS PHF-1.1
- 電源 : ソーラーパネル





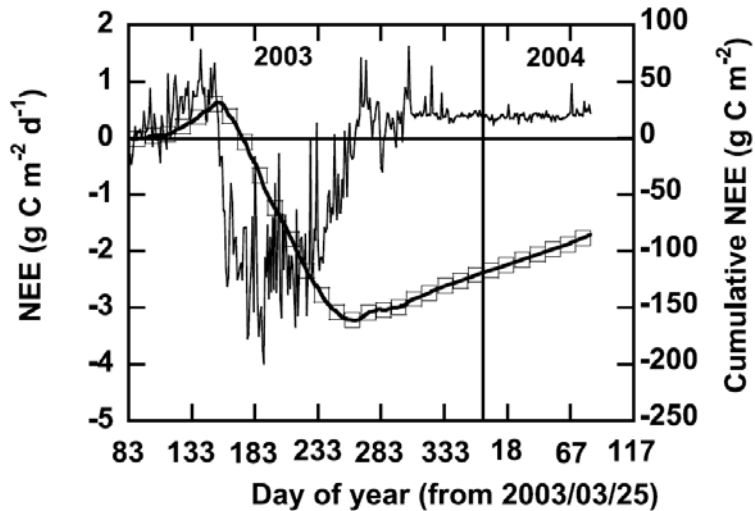




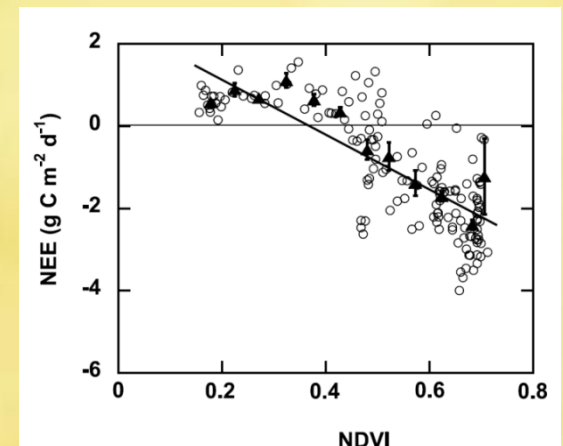
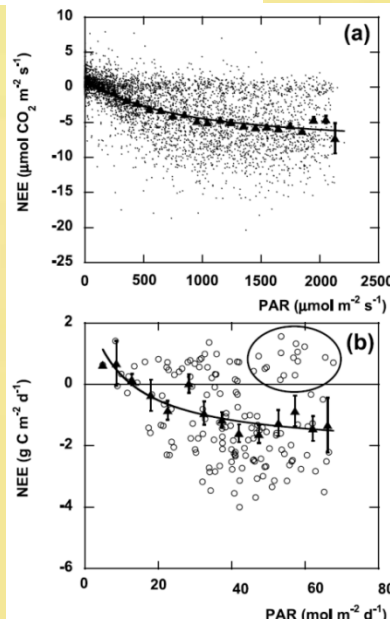


# SKTのデータを用いた研究1

## Li. et al.(2005, JGR)



- 年間炭素収支 (2003.3-2004.3)  $-85 \text{ g C m}^{-2}$ (吸収)
- NEEの支配要因を明らかにする。
  - 暖候期NEE: PAR、気温、VPD、LAIに依存
  - NDVIに対して直線的、PARに対して光飽和的に依存

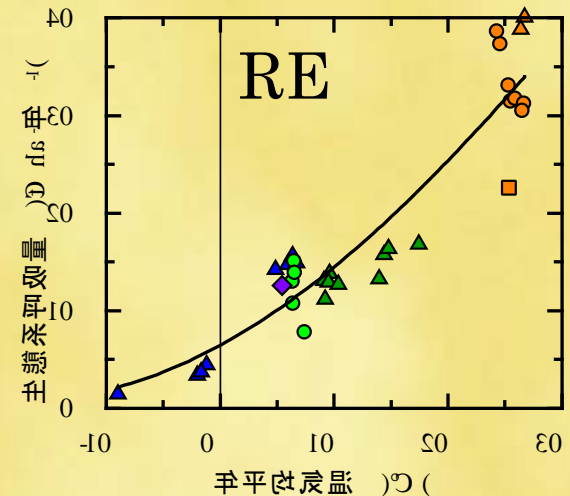
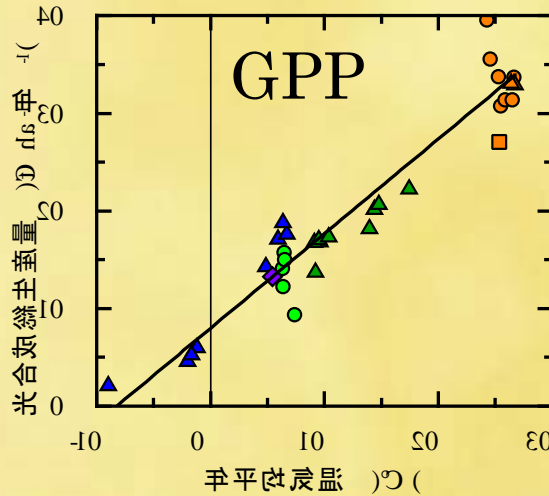
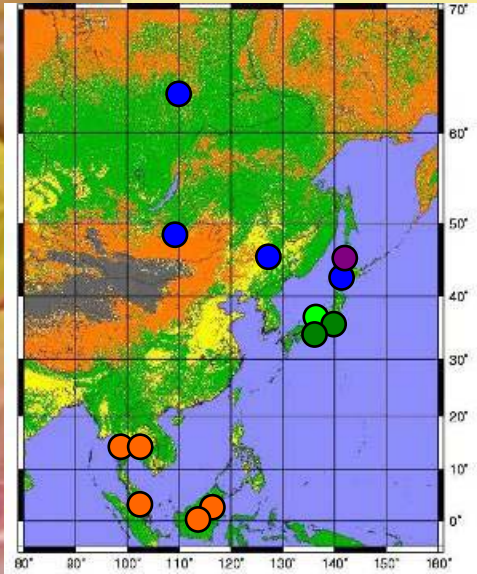




# SKTのデータを用いた研究2

## Hirata et al,(2008, AFM)

## Saigusa et al,(2008, AFM)



- ▲ 常緑広葉樹林 (Evergreen broadleaf forest)
- 常緑針葉樹林 (Evergreen needleleaf forest)
- ◆ 混交林 (Mixed forest)
- ▲ 落葉広葉樹林 (Deciduous broadleaf forest)
- 落葉針葉樹林 (Deciduous needleleaf forest)
- 落葉林 (火災後) (Deciduous forest (after fire))

AsiaFlux東アジア13サイトの比較解析

年GPP、REは年平均気温に強く依存。

成長期の長さと最大光合成能力

関係は他地域に比べて単純

干ばつなどの強い乾燥ストレスが無い

環境研三枝氏・農  
環研平田氏提供





# SKTのデータを用いた研究: 3

## K. Takagi, et al (2008)

- ✿ K. Takagi, et al, 2008: Seasonal Variation of photosynthetic and respiratory parameters of larch forest in east Asia, , AsiaFlux Workshop 2008, Seoul, Korea.

(北海道大学北方生物圏フィールド科学センター高木健太郎氏)

北海道大高木健太郎氏提供

# Larch forest sites in Eurasia

## 8 sites:13 years



Tura  
(*L. gmelinii*)  
Nakai et al.  
(2008)



Mongonmorit  
(*L. sibirica*)  
Li et al.  
(2005)



Laoshan (*L. gmelinii*)



Fuji Hokuroku  
(*L. kaempferi*)



Yakutsk (*Larix gmelinii*)  
Ohta et al. (2001; 2008)



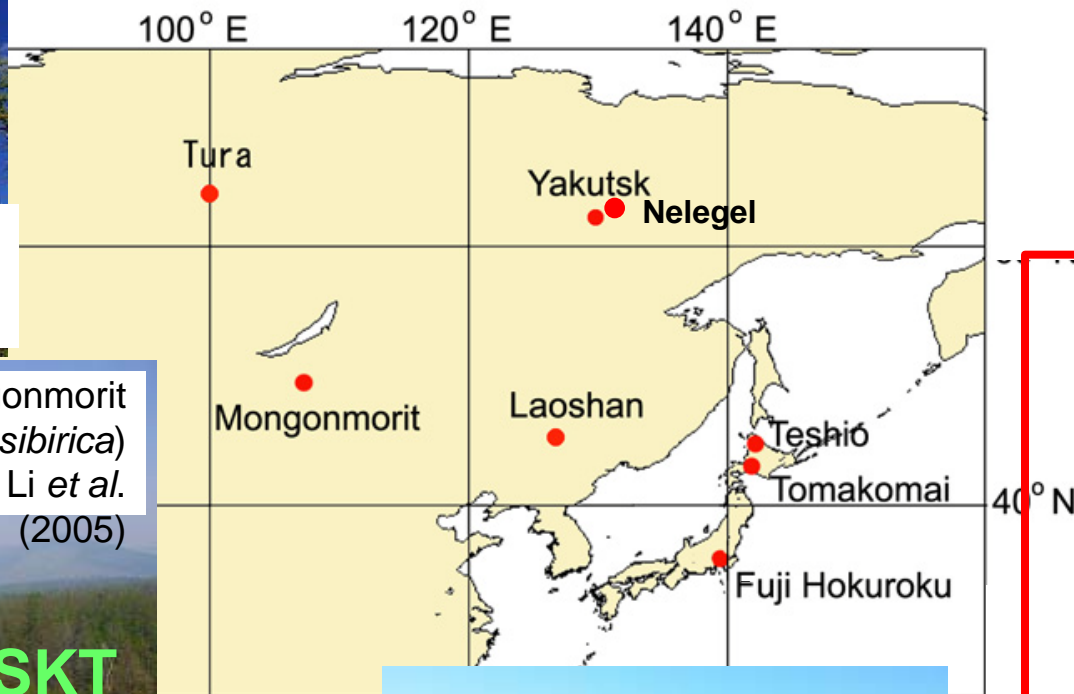
Nelegel (*L. gmelinii*)  
Machimura et al. (2005)



Teshio (*L. gmelinii* x *L. kaempferi*)  
after clearcut of mixed forest  
Takagi et al. (in press)



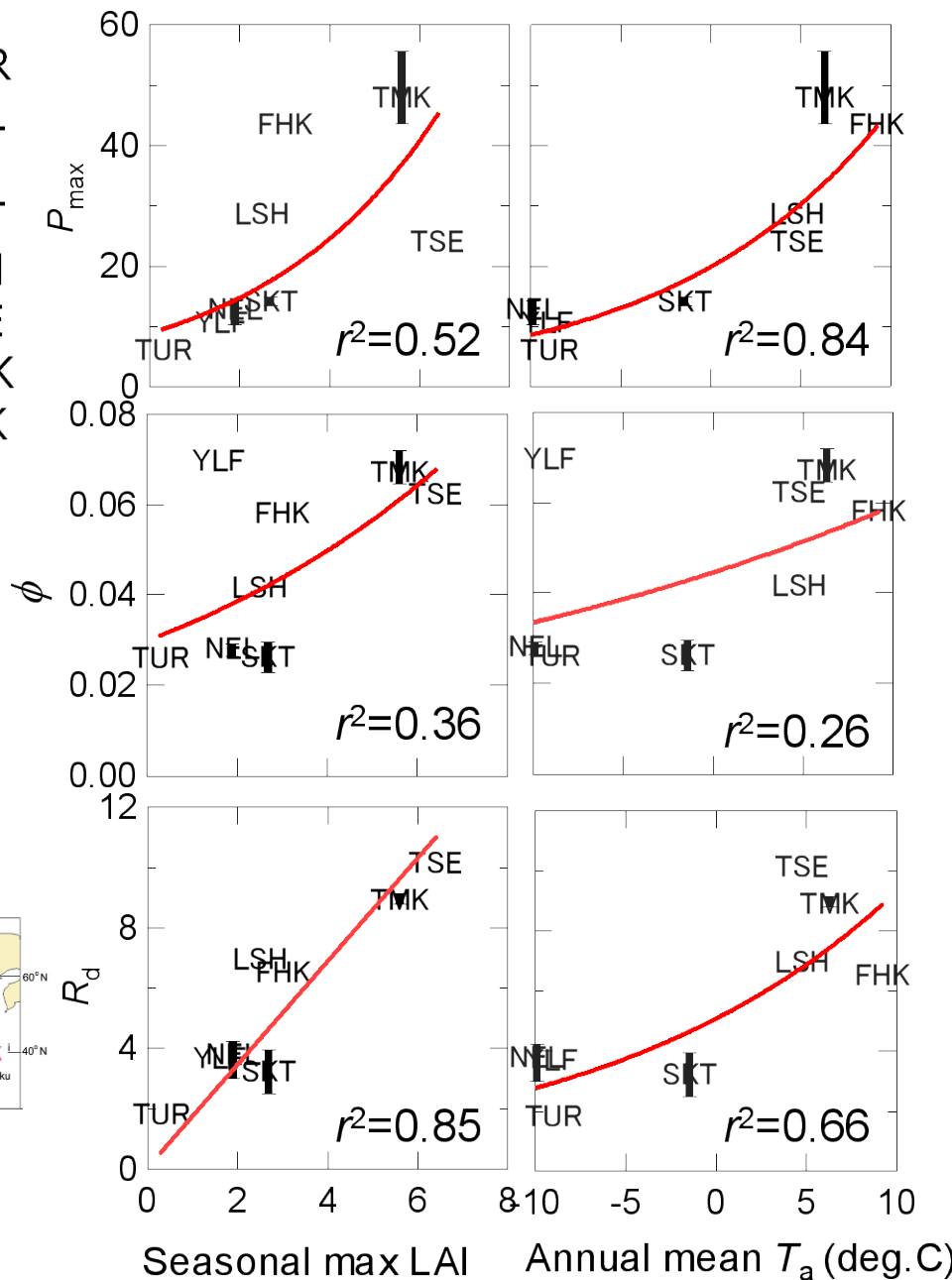
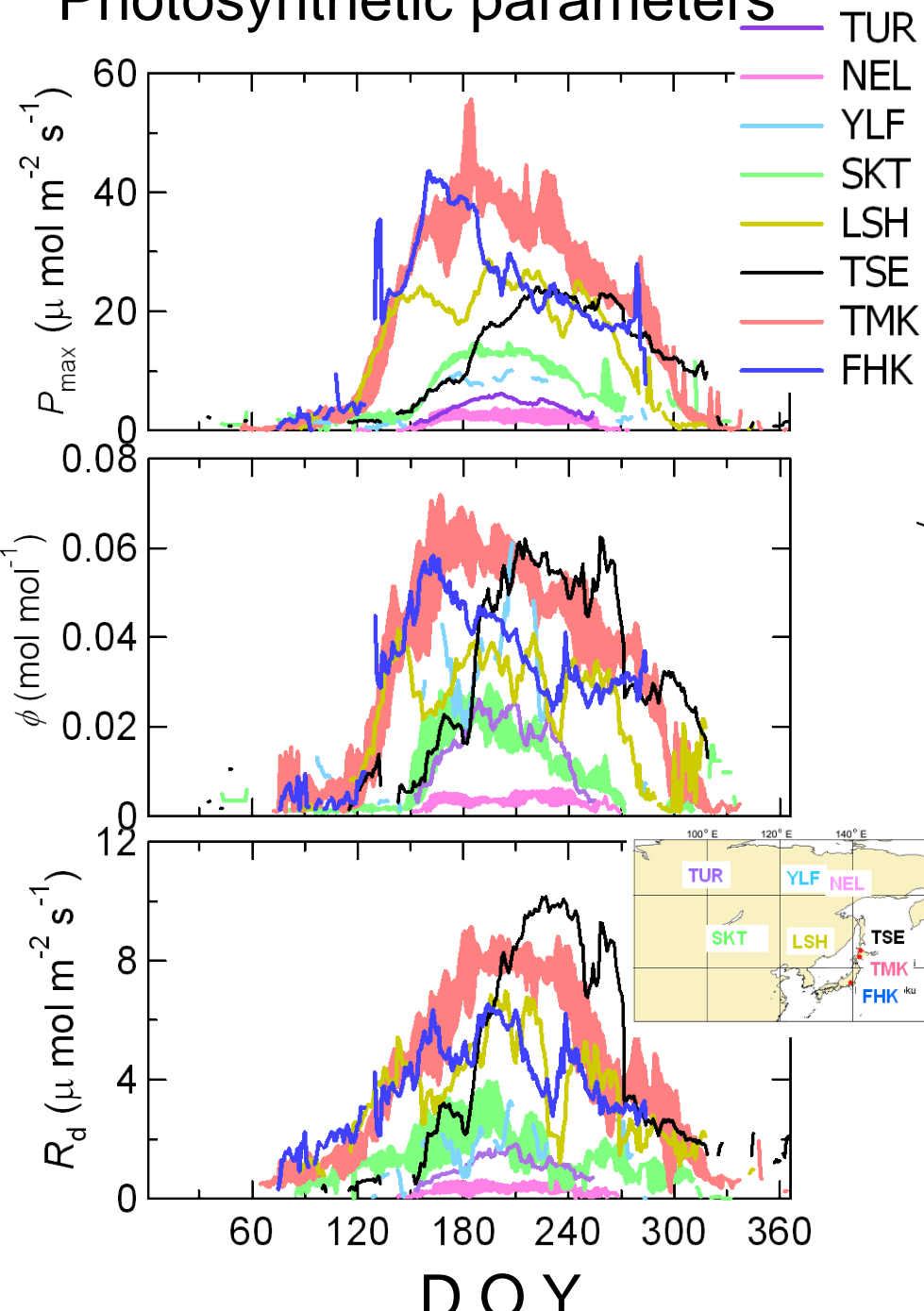
Tomakomai (*L. kaempferi*)



Plantation



# Photosynthetic parameters



北海道大高木健太郎氏提供



# SKTにおける研究4

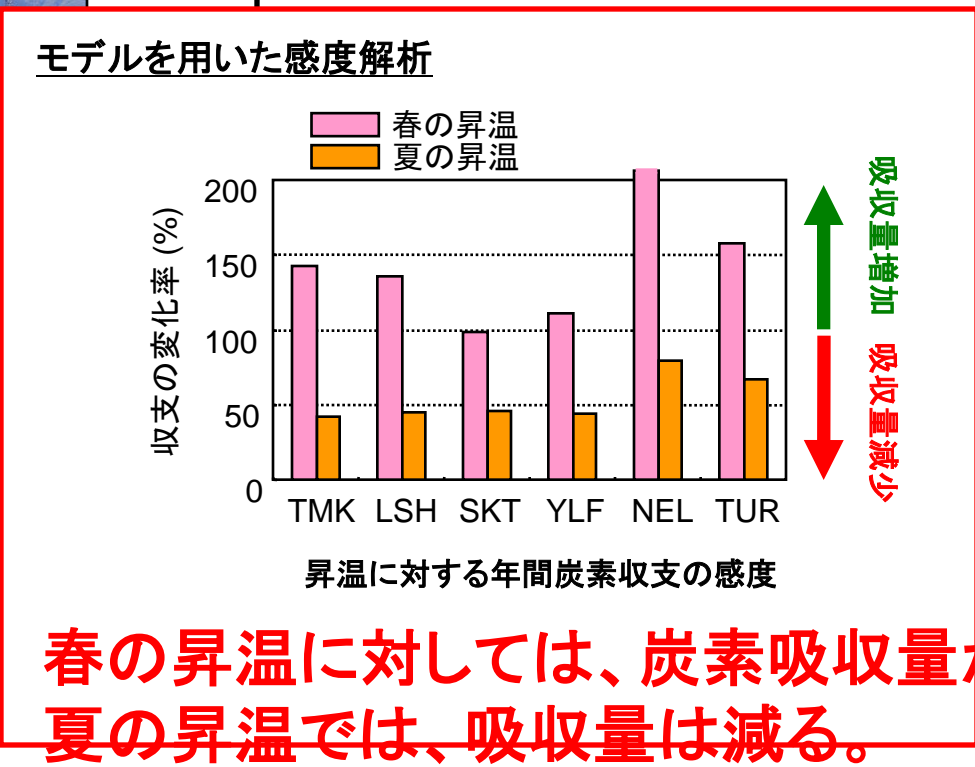
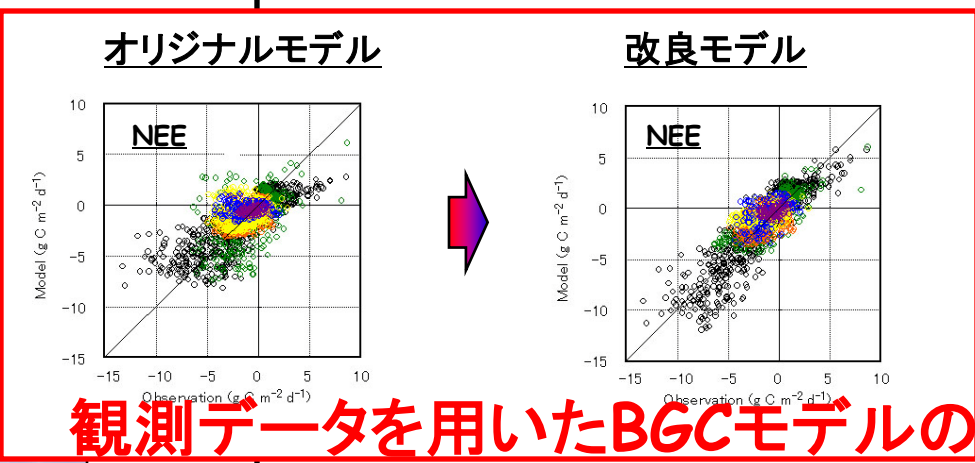
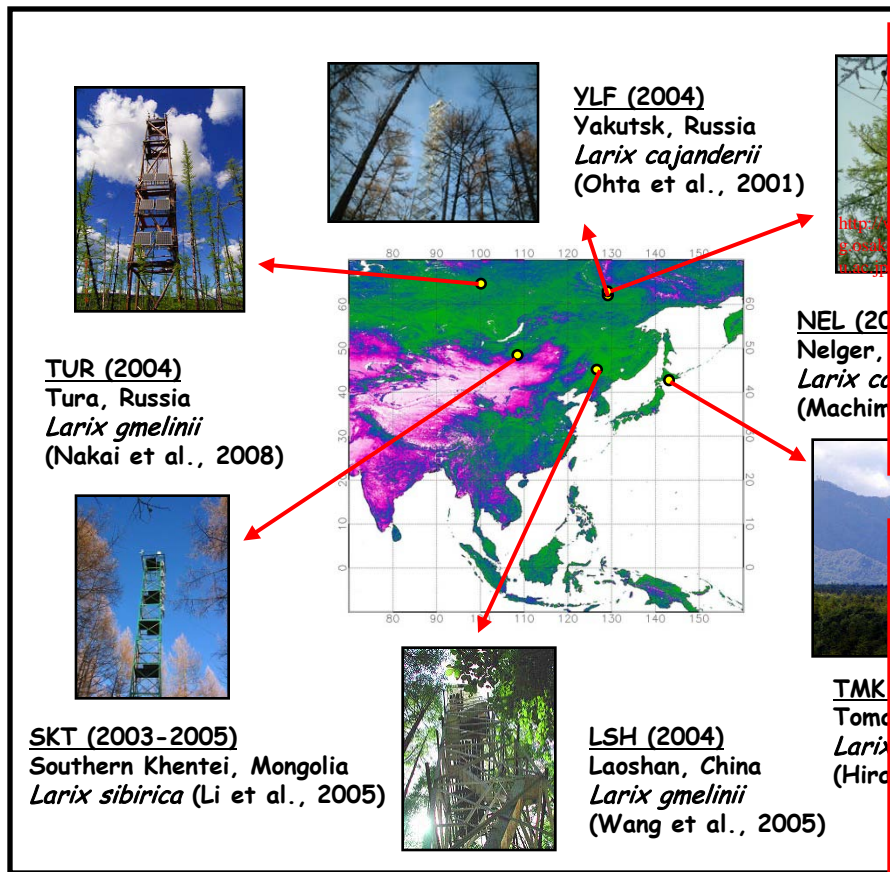
## Ueyama et al

- ✳ **Simulating carbon and water cycle at larch forests in East Asia by the BIOME-BGC model with AsiaFlux data (Biogeosciences, submitted)**

(大阪府立大植山氏)



# 観測データ・陸域生態系モデルによるカラマツ林の炭素・水循環の高精度評価



- ☑ 観測データを用いたBIOME-BGCモデル
- ☑ モデルを用いたカラマツ林の広域炭素・水循環の高精度評価
- ☑ 環境要因に対する炭素・水循環の感度解析



**草原サイト:KBU**





# Kherlenbayaan Ulaan(KBU)

## 観測概要

🌿 渦相關法

🌿 Kaijo SAT-540

🌿 Licor LI7500

🌿 放射 4 成分

🌿 Kipp&Zonen CNR1

🌿 温湿度

🌿 Vaisala HMP45D

🌿 土壤

🌿 地温 : Climatec C-PT

🌿 水分 : Campbell CS616

🌿 伝導熱 : REBS PHF-1.1

🌿 電源 : 商用電源







### 🌼 条件

🌼 寒冷・半乾燥

🌼 年平均気温：1.2℃

🌼 年降水量：200mm／年

### 🌼 植生

🌼 均一な草地

🌼 平均草丈：0.1-0.2m

🌼 LAI: 1以下





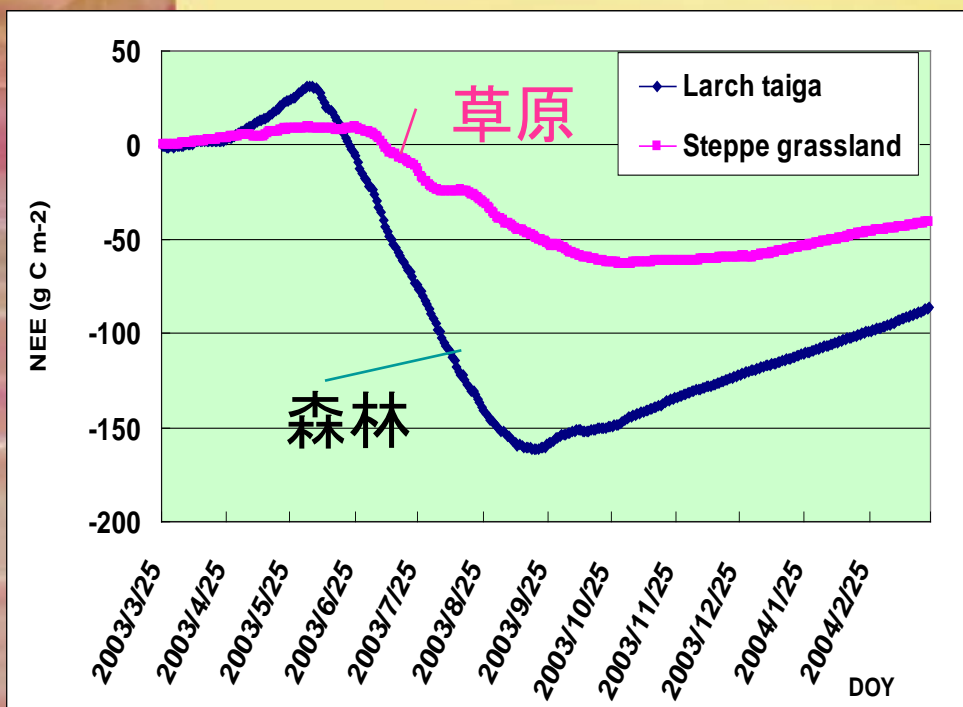


# KBUのデータを用いた研究1

## Li et al(2005, GCB)

✿ 炭素収支を計算(2003年)： 炭素のシンク

	炭素収支量	炭素同化量	呼吸量
	g C m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup>		
Larch taiga	-85 (-80 ~ -140)	-525	440
Stipa steppe	-41 (-23 ~ 20)	-179	138



- 森林と同様に炭素吸収源
- 森林の方が強い吸収





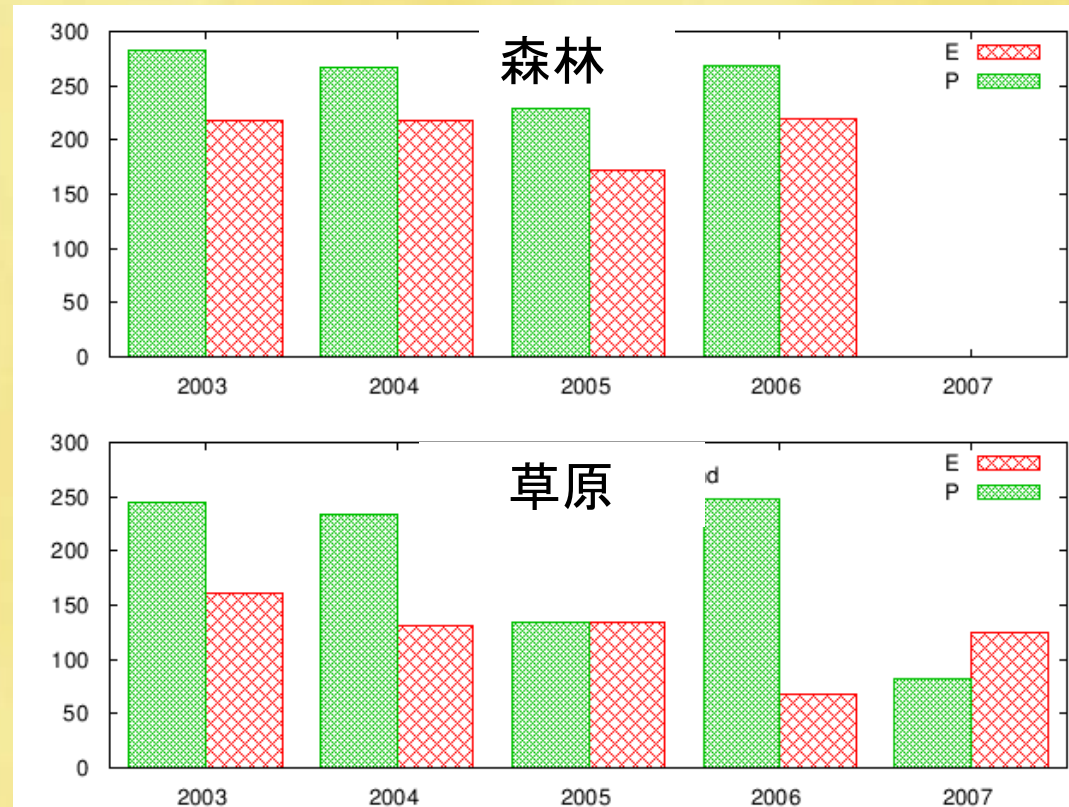
# 半乾燥草原における 陸面モデルの利用



# 降水・蒸発量の年々変動

## 対照的な水・熱収支

- 森林：安定した降水量と蒸発量
- 草原：大きな年々変動



観測値：2003-2007





# 降水・蒸発量の年々変動2

- ❖ 乾燥・半乾燥地では $P=E$ ではないのか？
  - ❖  $P=E$ というステティックな関係ではないのでは？
  - ❖  $P$ と $E$ がダイナミックに変動（特に草原）
- ❖ 水収支の年々変動は、何によって生じるか？
- ❖  $P-E$ は水資源量。社会的に重要。
- ❖ 長期変動・トレンド、広域での変動の支配因子は、何か？



- ❖ モデル研究へ
  - ❖ モデルで再現できるか？



# モデル概要:

## Community Land Model ver.3

- ✿ NCAR-CCSM(GCM)の陸面モデル
- ✿ 複数の既存のモデルを統合
  - ✿ BonanのLSM
  - ✿ BATS
  - ✿ Institute of Atmospheric Physics, CASのLSM (IAP94)
- ✿ LDAS(陸面同化システム)などで使用





# モデル概要2: プロセス構成

## ❁ 地表面フラックス

- ❁ 蒸散: コンダクタンス型
- ❁  $\text{CO}_2$ : PAR, 酵素, 光合成能力

## ❁ 土壌・積雪プロセス

- ❁ 10層、浸透方程式 (土壌)

## ❁ 水文プロセス

- ❁ 表面流出・浸透プロセス

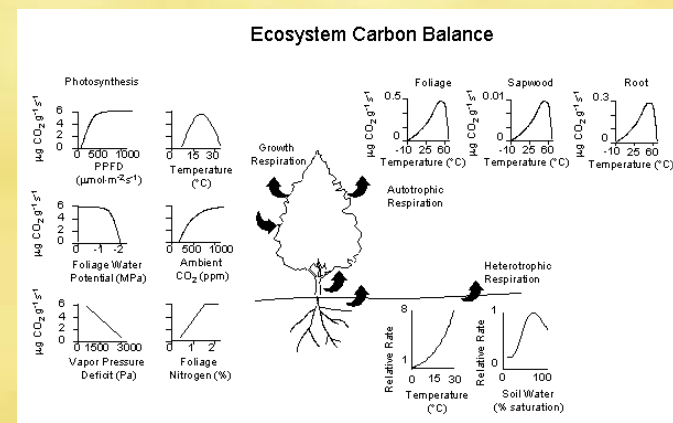
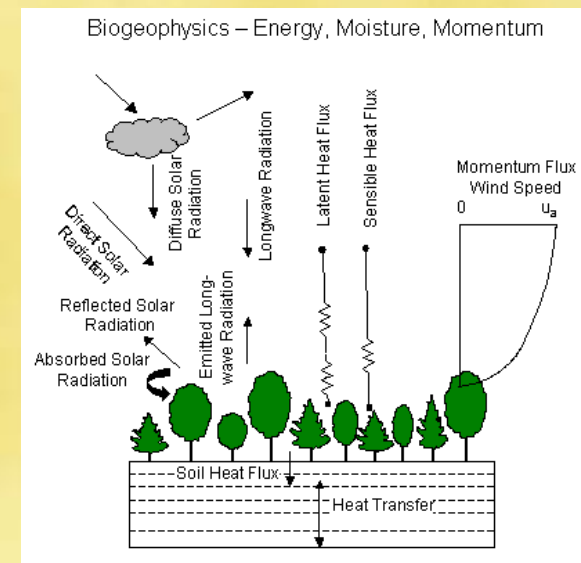
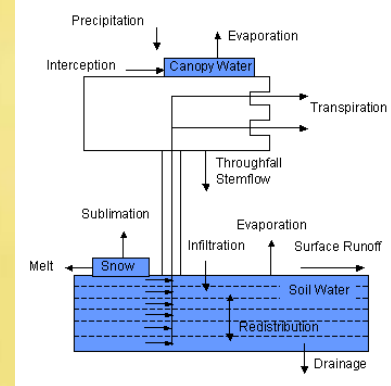
## ❁ 放射

- ❁ キャノピー内の放射伝達モデル

## ❁ DGVM

## ❁ bVOC

## ❁ 生化学モデルなども



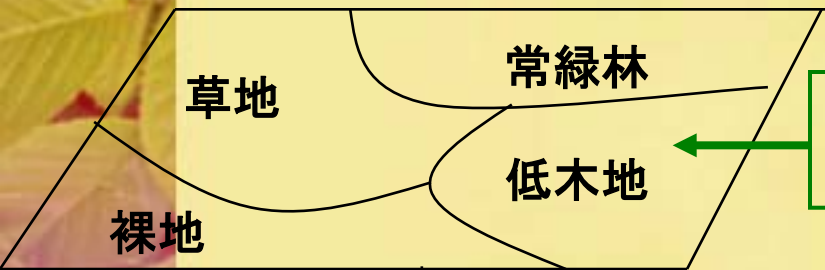


# モデルの概要3: (サブグリッドプロセス)

## グリッドセル

1つのグリッドセル上に複数のPFT(Plant Function Type : 植生機能タイプ)を設定できる

PFTs(例)



PFTは機能に応じた植生を分類。  
(例：針葉樹、落葉樹、常緑樹、草地)

カラム (土壌, 積雪)

植生の下にカラム (土壌, 雪) が存在, 土壌は  
10のレイヤー (層)



# 計算条件、入力データ

計算期間： 2003.4 – 2008.4 (5年間)

適用場所： KBU

植生： C3草原100% (static)

フォーシング： 観測値 (気温、風速、湿度、日射etc)

パラメータ	数値
土壌の色	6
月平均のLAI,SAI	図を参照
キャノピーの高さ (top, bottom)	
土壌の粒径構成比	
運動量粗度	
ゼロ面変位	0.21 ( $\times 10^{-2}$ m)
葉の大きさ	0.02 (m)
根の分布	0.04 (m)
25°Cにおけるカルボキシル化の最大値	a=11, b=2
量子効率	43
葉の反射率 (可視光、近赤外)	0.06
茎の反射率 (可視光、近赤外)	vis=0.11, nir=0.58
葉の透過率 (可視光、近赤外)	vis=0.36, nir=0.58
茎の透過率 (可視光、近赤外)	vis=0.07, nir=0.25
葉の角度	vis=0.22, nir=0.38
	-0.3

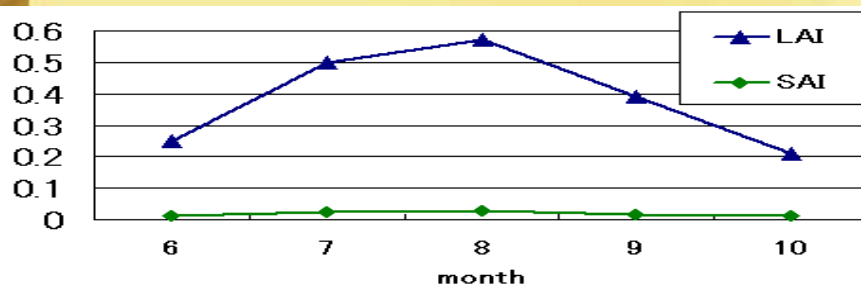
観測値

小島 (2004)

Hoshino(2006)

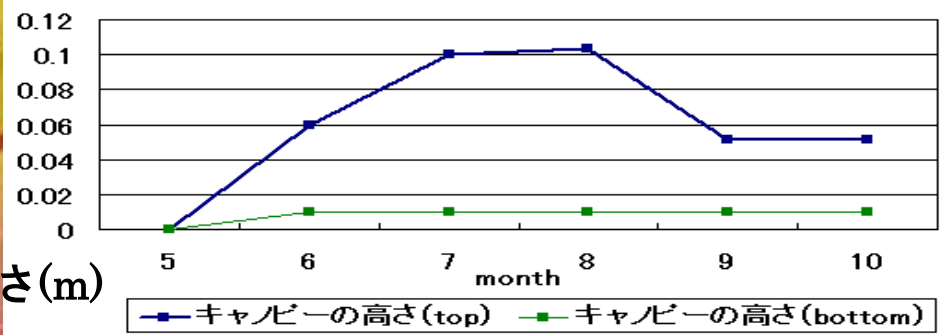
Bonan et al  
(2002a,b)のデータ  
をそのまま使用





## ・ LAI, SAI

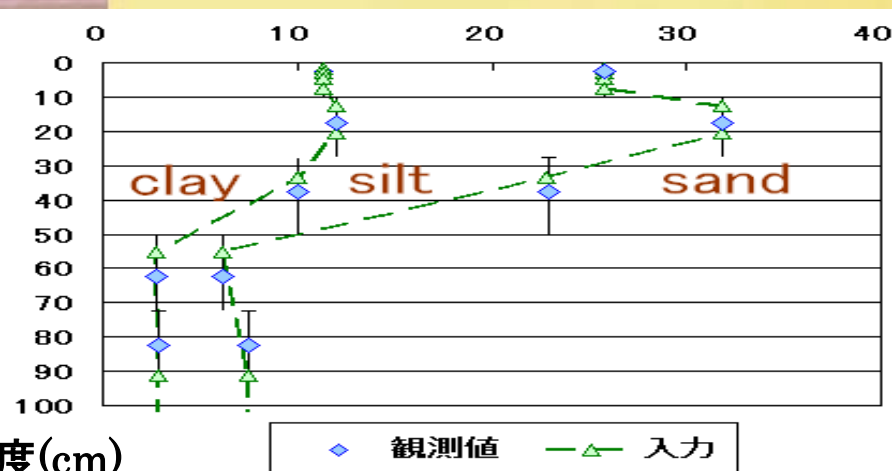
小島 (2004)による地上観測をもとに作成



## ・ キャノピー高さ

高さ(top)は観測値

キャノピー高さ(bottom)はBonan et al (2002)

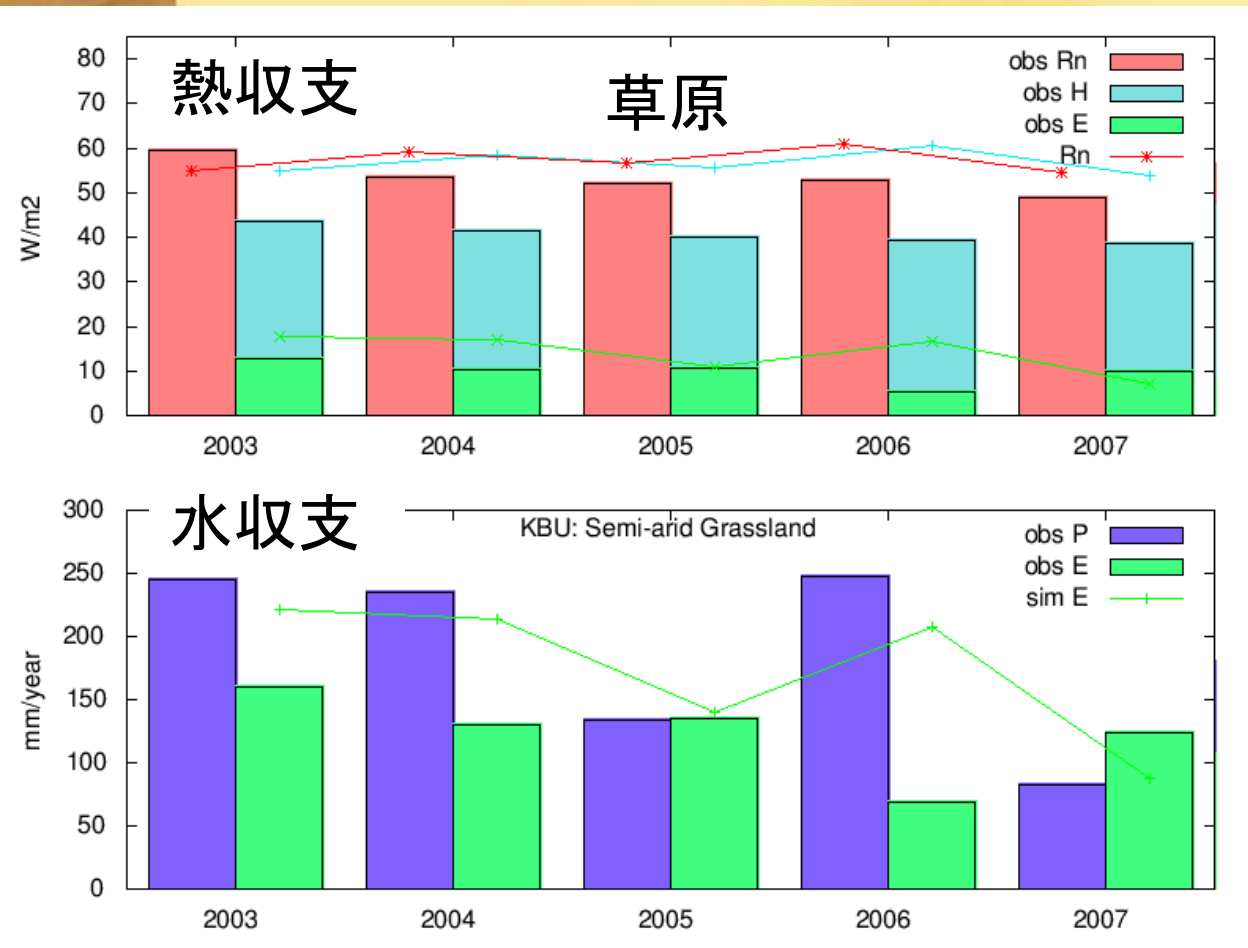


## ・ 土壌の粒径構成比 (%)

入力は観測値(Hoshino, 2006)をCLMの深度に合わせて作成



# 熱・水収支の検証 (年々変動・年平均)



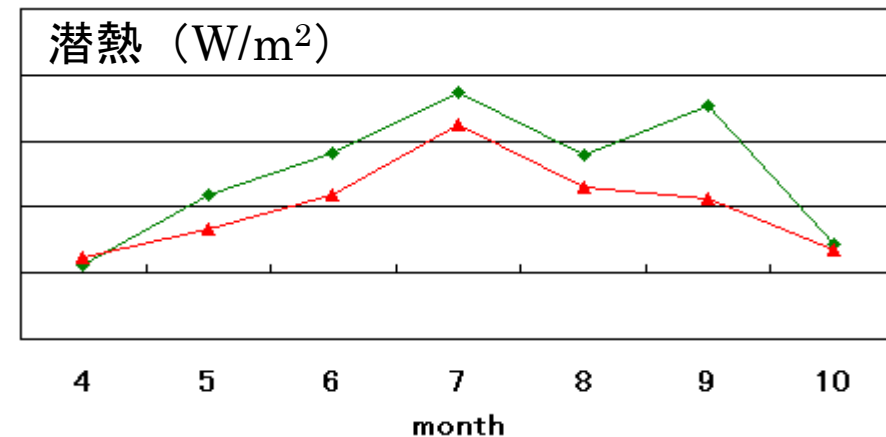
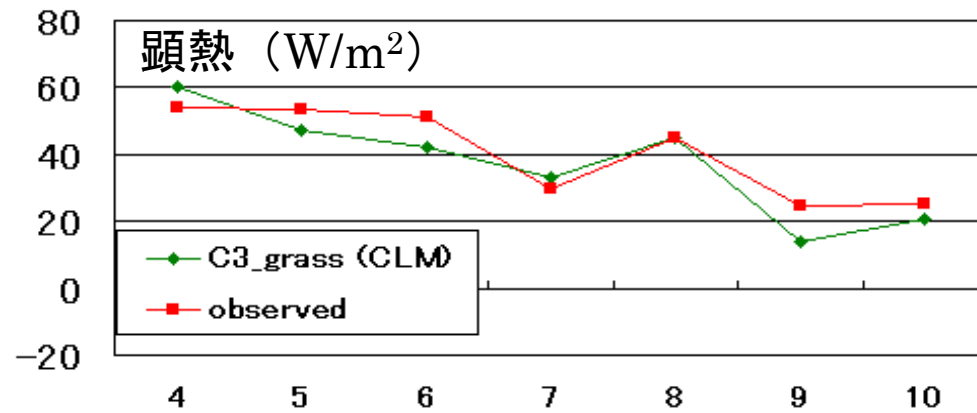
✿ 蒸発が過大(ほぼ  $P=E$ )

✿ フラックスの観測値は過小？ (インバランス)

棒グラフ：観測・折れ線：モデル



# 熱・水収支の検証 (月平均・季節変化)

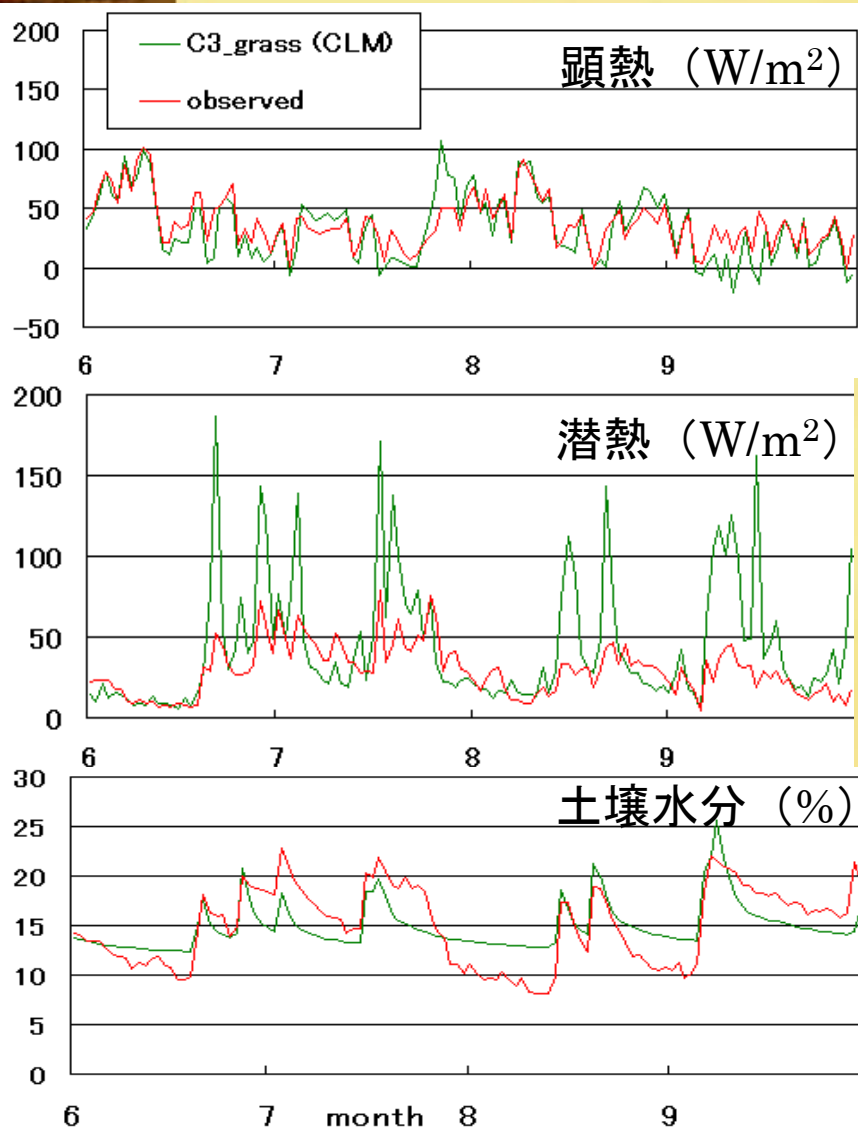


- ・ 季節変化は大まかに再現
- ・ 潜熱はモデルが過大

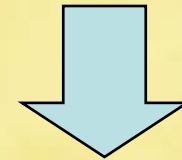




# 熱・水収支の検証 (日平均・季節内変化)



- ✿ 顕熱は大まかに再現
- ✿ 潜熱は降雨直後に過大、その後過小
- ✿ 土壌水分の挙動が再現出来ていない



- ✿ 土壌植生のパラメーターか？



# 感度分析

## ❁ 観測値での検証： 再現性向上の必要性

- ❁ 潜熱フラックスの再現性が悪い
- ❁ 土壌水分の挙動が再現されない
- ❁ 土壌特性？ 植生パラメーターか？

## ❁ 感度分析の実施

- ❁ 土壌粒径分布（→透水、保水特性）
- ❁ LAI
- ❁ 植生の集中度（変化がないので省略）

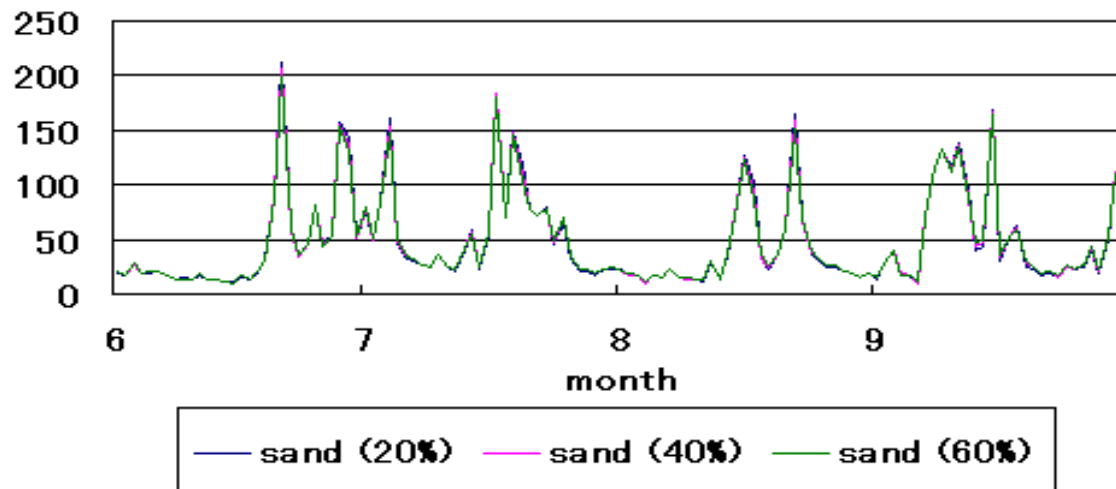


# 土壌特性に対する感度分析

- ・ 土壌の粒径構成比を変化

	表層(0-5cm)	
	sand (%)	clay (%)
観測値	74	11
ケース1	20	11
ケース2	40	11
ケース3	60	11

モデル内で、土壌の粒径構成比から飽和透水係数、水分特性曲線、飽和体積含水率が計算される

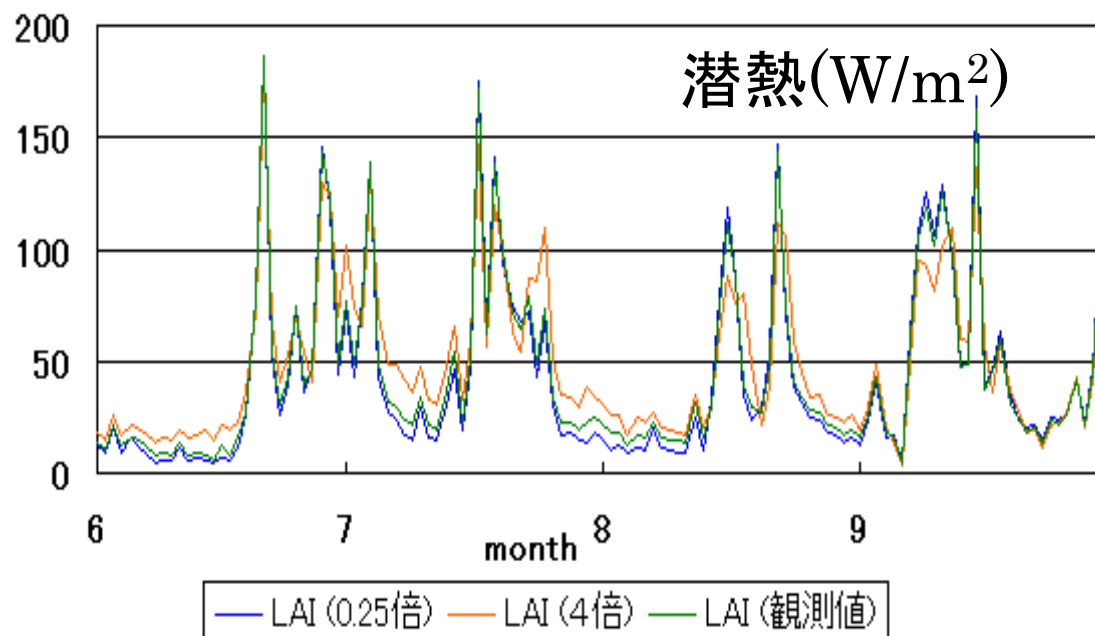
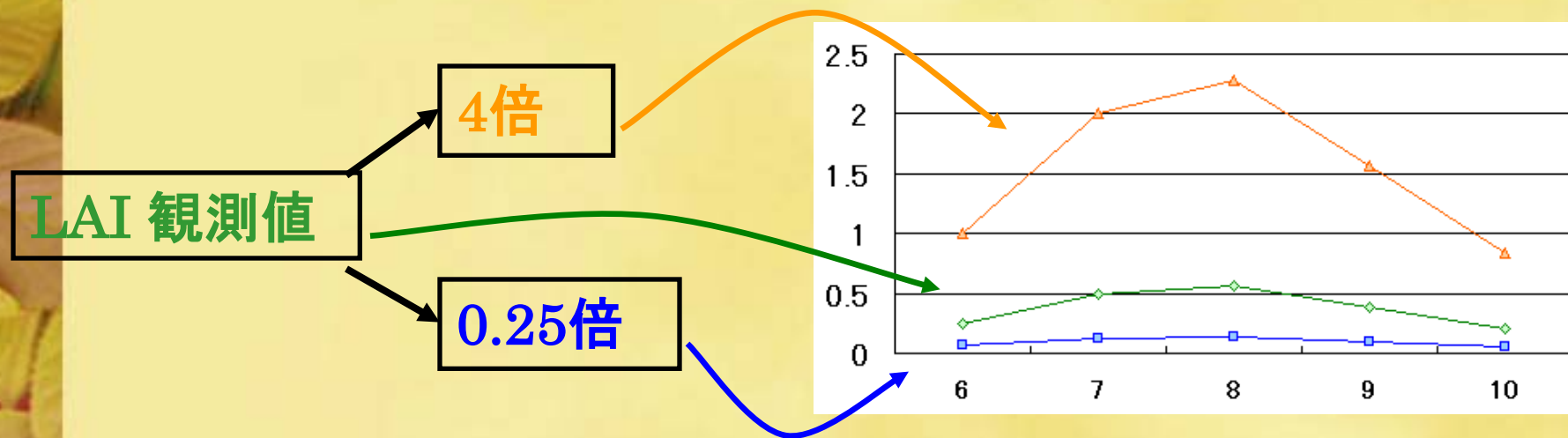


- ・ 結果は変わらない





# LAIに対する感度分析



- ・ 降雨後の乾燥段階に LAIが高い方が潜熱は高い



# CLMの適用： まとめ

## ❁ 地表面熱収支の検証

- ❁ 乾燥段階における蒸発の再現性が悪い。
  - ❁ 裸地面蒸発あるいは蒸散のパラメタリゼーションの問題？

## ❁ 感度分析

- ❁ 土壌の粒径構成比：感度小
- ❁ LAI：感度大
- ❁ 理由：
  - ❁ 土壌は乾燥しているため、土壌特性の変化は影響しない
  - ❁ 植生による蒸散が土壌面蒸発よりも大きい  
→植生パラメータが重要

## ❁ 半乾燥地においても植生パラメータが重要 (???)

## ❁ <モデル研究の詳細は、日曜日のポスター発表で>



# Data公開

## ✿ AsiaFlux登録サイト

- ✿ 2009年4月：レベル0 (生)データをデータベース登録
  - ✿ KBU: 2003.3 – 2008.7
  - ✿ SKT: 2003.3 – 2006.9
- ✿ 2009年夏：レベル1 (QC・GF後) データ公開予定

## ✿ GEWEX-CEOP登録サイト

## ✿ その他

- ✿ RAISEプロジェクト期間中(2002-2006)のデータはプロジェクトHPにて公開中
  - ✿ <http://raise.suiri.tsukuba.ac.jp>





# 謝辞:

✿ 以下の方々から貴重なご研究の図などをご提供頂き真下。

- ✿ NIES地球観測センター三枝氏
- ✿ 大阪府立大生命環境科学研究科植山氏
- ✿ 農業環境研平田氏
- ✿ 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター高木健太郎氏





# SKTは現在、停止中



2003年3月 観測開始時

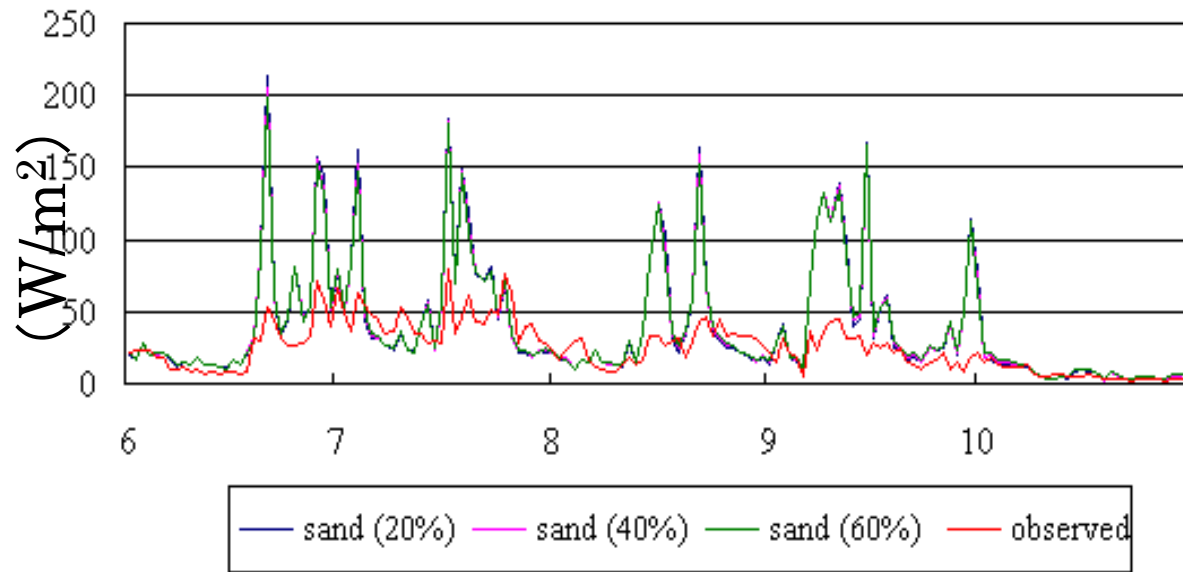


2006年11月 盗難直後



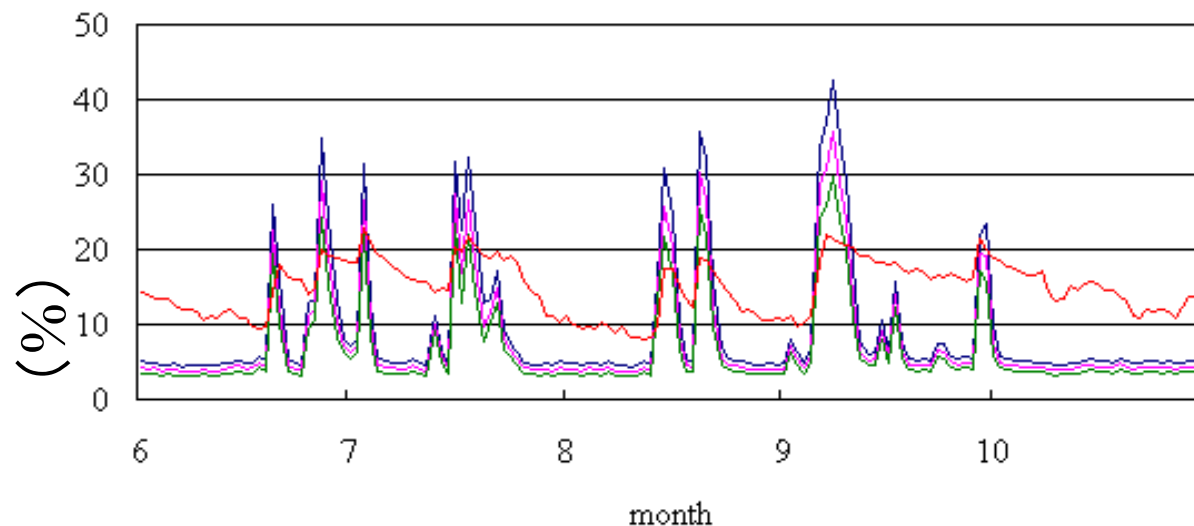
# 土壌特性に対する感度分析(結果)

潜熱



- 土壌特性にそれほど依存しない

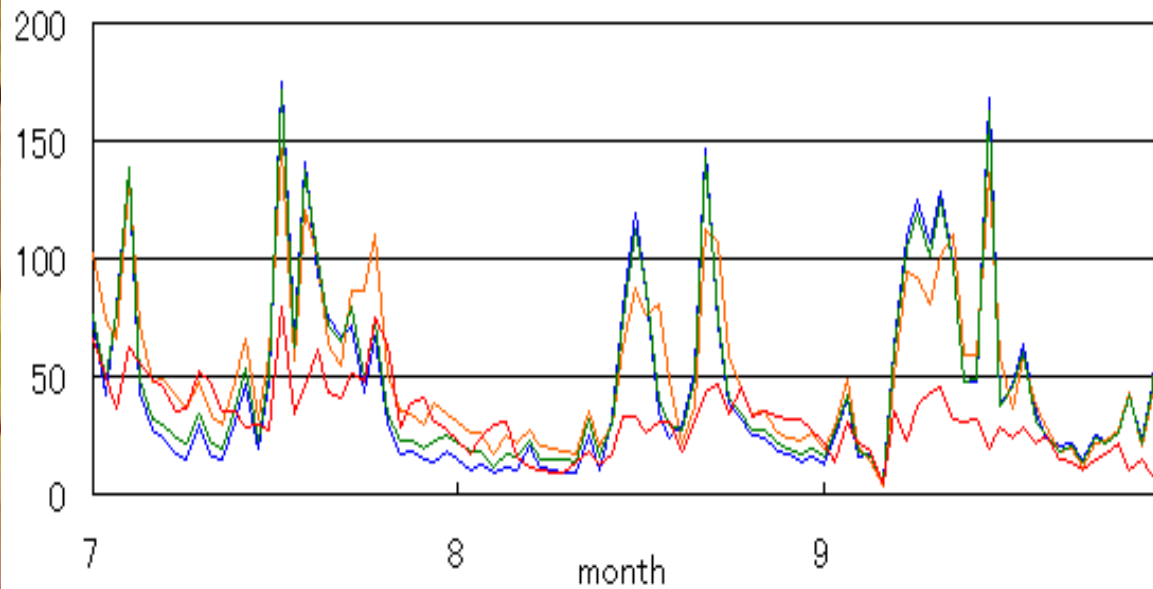
土壌水分



- sandの比率が高い方が土壌水分は低い

# LAIに対する感度分析（結果）

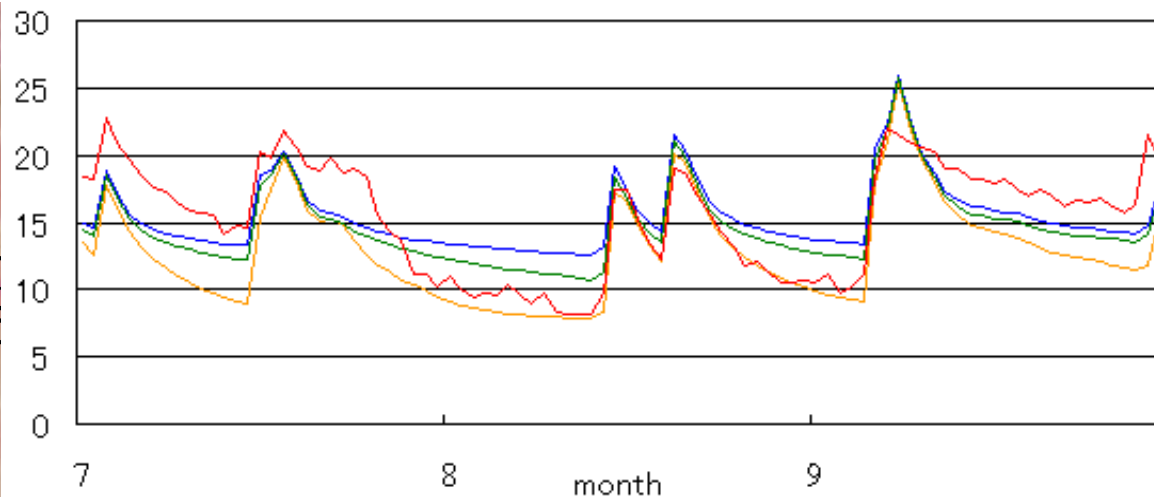
潜熱



— LAI (0.25倍) — LAI (4倍) — LAI (通常) — observed

・ 降雨後の乾燥段階にLAIが高い方が潜熱は高い

土壌水分



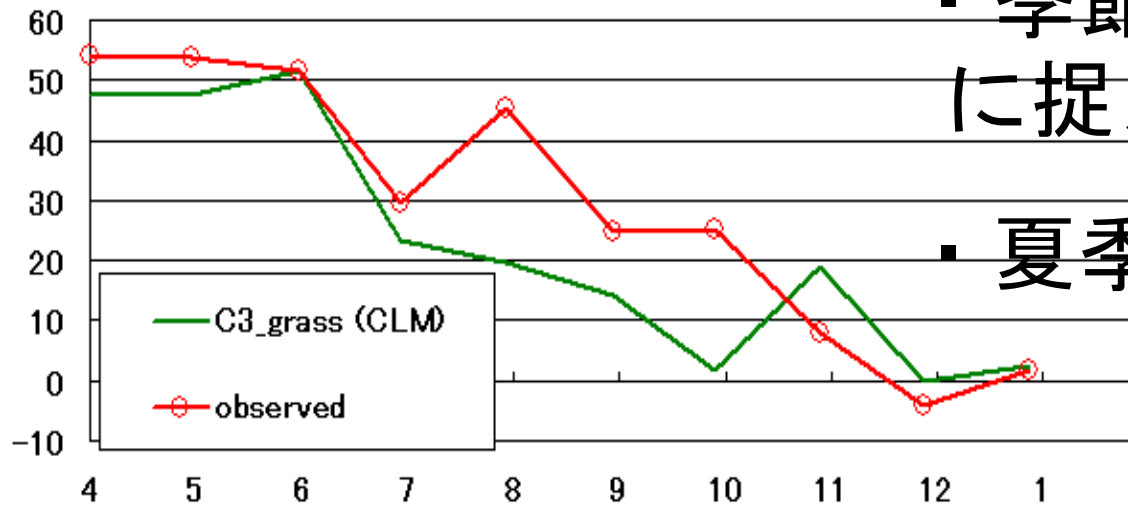
・ 降雨後の乾燥段階にLAIが高い方が土壌水分量は低い



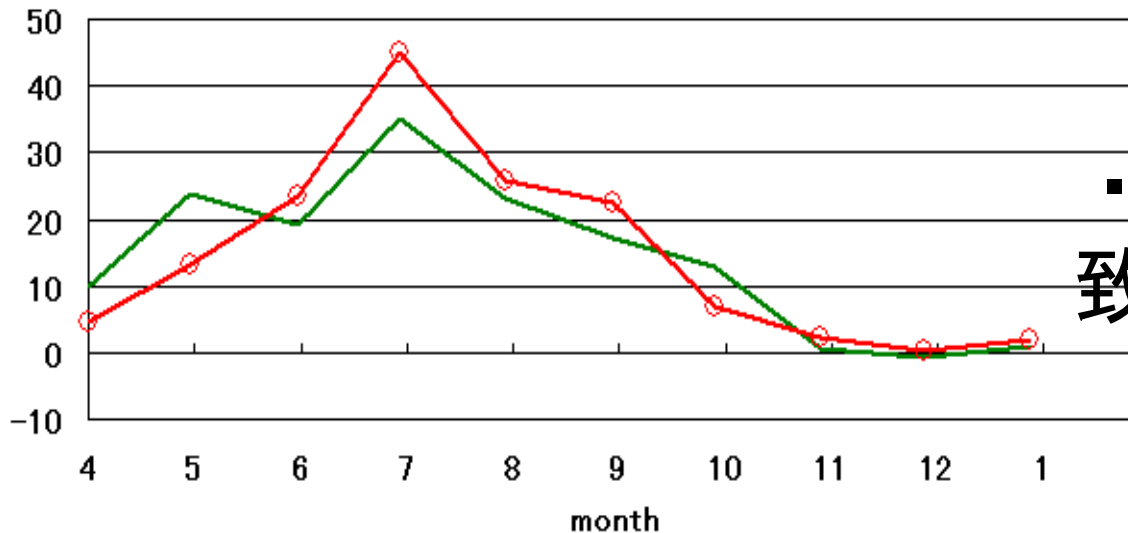
# 熱・水収支の検証（季節変化）

・ 季節変化は大まかに捉えられている

・ 夏季に過小評価



・ 潜熱は一致



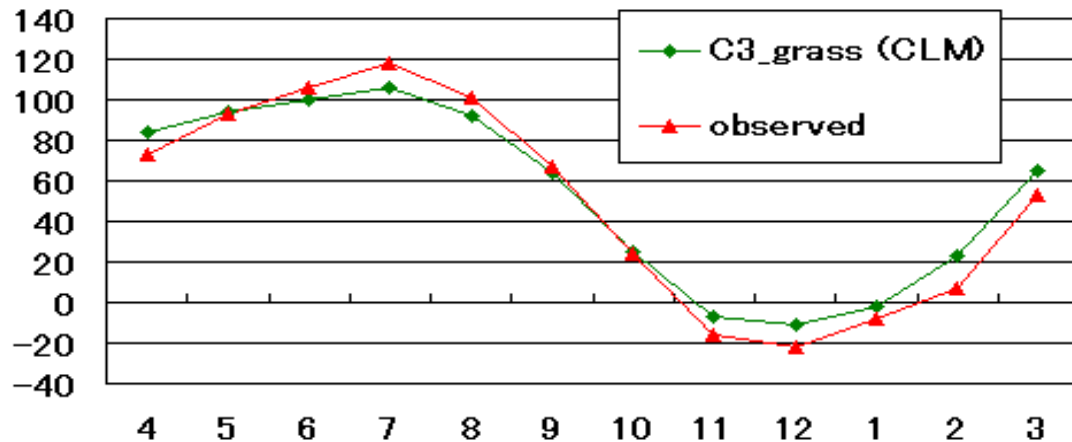
顕熱

潜熱



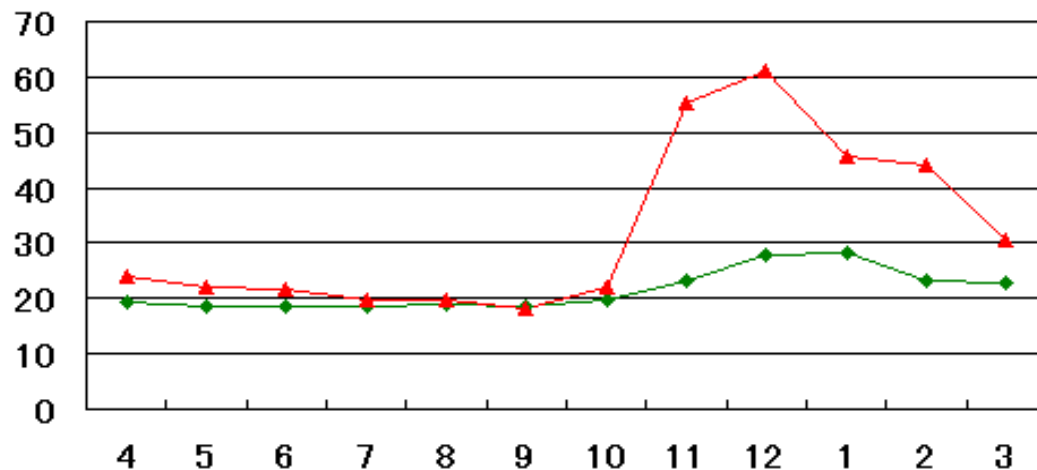
# 放射収支, アルベドの検証

## 放射収支



- 冬季に過大評価

## アルベド (%)



- 草地と裸地では夏季に違いがあり

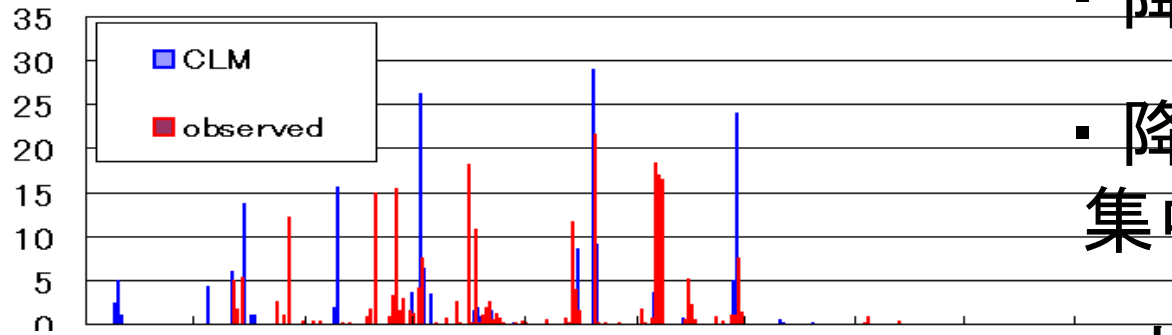
- 積雪の表現に問題



- 冬季の降水量に問題があると推測

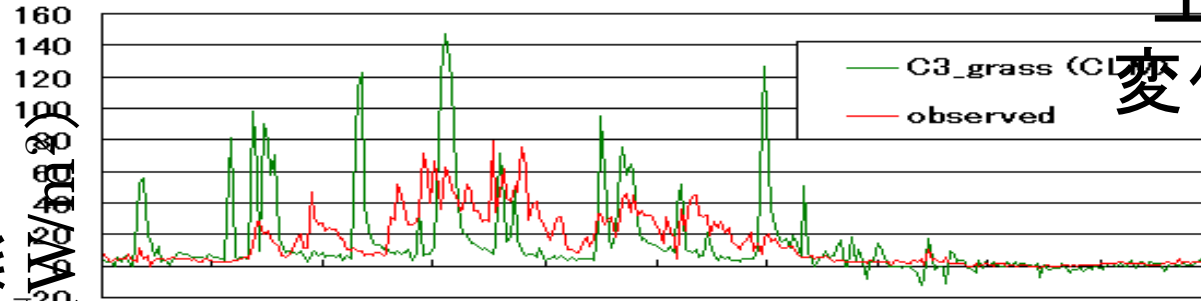
# 季節内変化での検証（潜熱）

降水量 (mm/day)



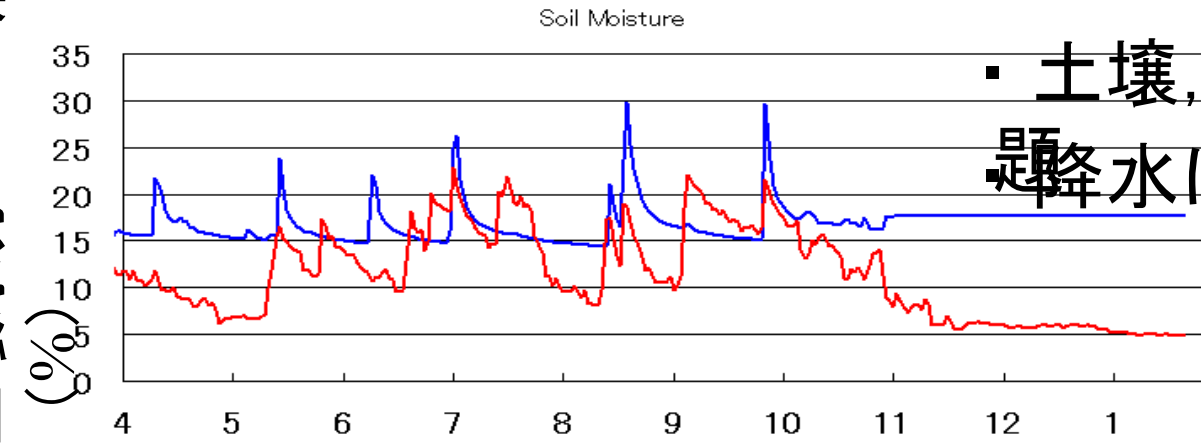
- ・ 降水量に差がある
- ・ 降雨直後に潜熱が集中

潜熱

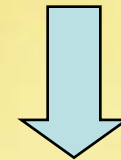


- ・ 土壌水分の時間変化が異なる

土壌水分



- ・ 土壌, 植生, 降水の問題



原因

植生、土壌、降水の問題

# 植生の集中度に対する感度分析

## ○検証方法

ケース0

C3草地100%

LAI 1倍

ケース1

草地 25%

LAI 4倍

裸地 75%

植生の集中度が高い

ケース2

草地 50%

LAI 2倍

裸地 50%

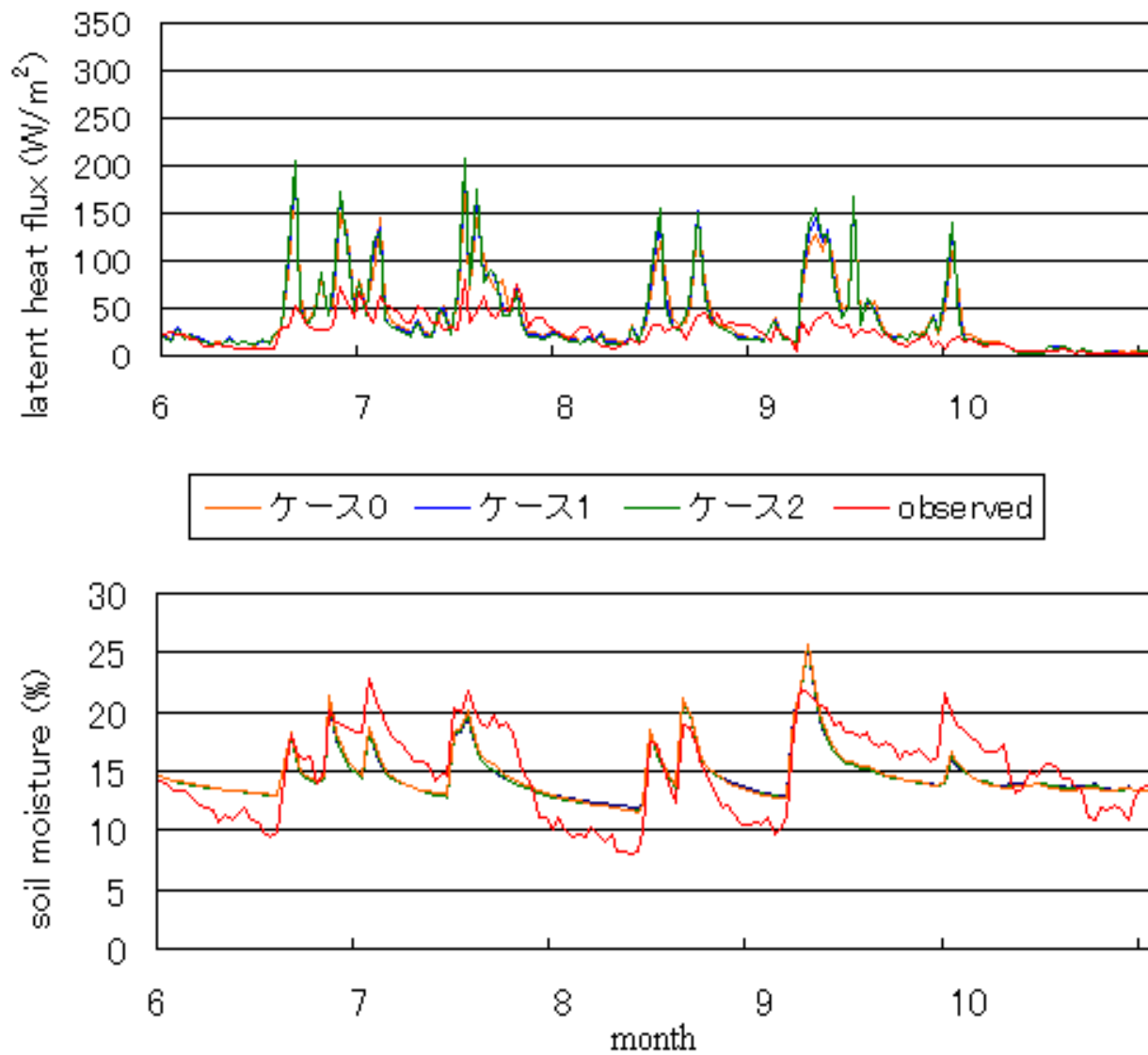
植生の集中度が低い

## ○出力

・ ケース1、2のグリッド平均、通常（草地100%、LAI1倍）を比較



# 植生の集中度に対する感度分析(結果)



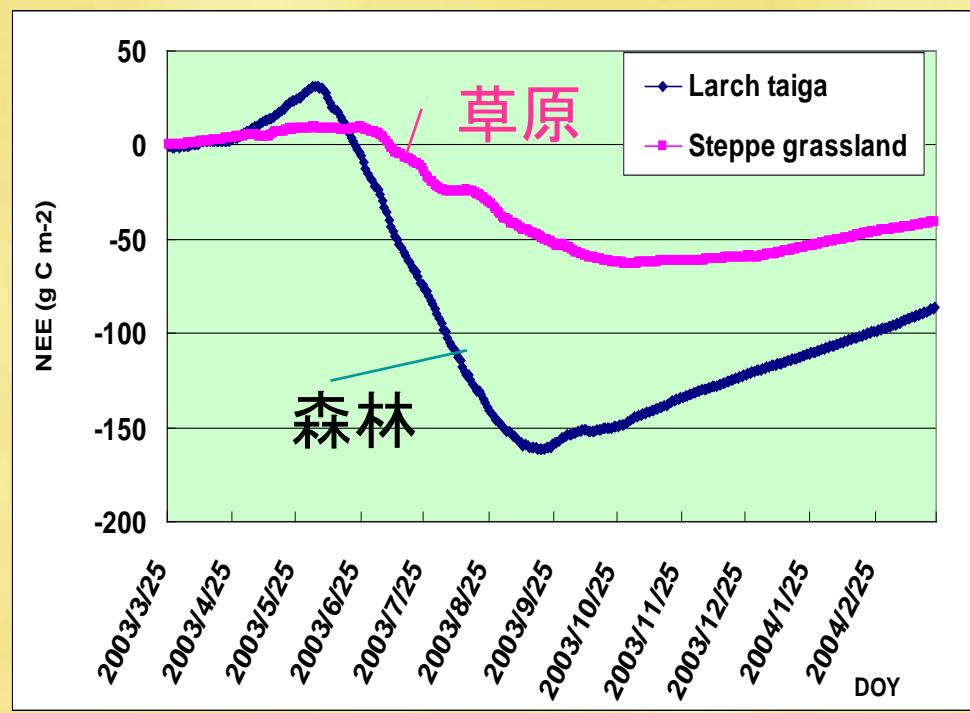
1. 地点観測から：

年々・年内変動

# 年間炭素収支量

炭素収支＝  
炭素同化－呼  
吸

- ・森林，草原ともに炭素吸収源
- ・森林の方が強い吸収



炭素収支量	炭素同化量	呼吸量
g C m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup>		
Larch taiga -85 (-80 ~ -140)	-525	440
Stipa steppe -41 (-23 ~ 20)	-179	138