

衛星データとフラックスデータを用いた熱帯雨林における炭素循環モデルの改善

福島大学 共生システム理工学類
環境システムマネジメント専攻
市井和仁

1. はじめに

熱帯雨林の炭素循環は、地球規模の炭素循環に大きな影響を果たすが、不確定な部分が多い。光合成や土壌有機物分解といったプロセスは陸域生物圏炭素循環の非常に重要かつ基礎的なプロセスであるが、それら素過程をコントロールする気候等の要因(例えば温度・水・日射等)について、未だ決定的なモデルが提示されてはいない。例えば、アマゾンの雨季・乾季が明瞭な常緑熱帯雨林地域では、従来は乾季には渇水によって光合成活動が制限され炭素が放出されると考えられていたが、最近の研究では、この地域の熱帯雨林が持つ深い根のため、乾季の間でも水による光合成制限が起こらないといった結果が得られている(Huete et al. 2006; Ichii et al. 2007)。土壌有機物分解においては、一般的なモデルでは温度に対して指数関数的に分解速度が上昇すると仮定しているが、温度よりも水分によって分解速度がコントロールされる可能性がいくつかの観測で示されている。地球温暖化などの将来の地球環境変動によって、気温や降水量は大きく変化するため、これらのモデルが陸域炭素収支シミュレーション、温暖化予測に及ぼす影響は大きい。従って、これらの素過程を制御する要素を特定し、モデルに取り込むことは非常に重要である。

本研究は、熱帯雨林の炭素・水循環を含む陸域生物圏モデルを向上させることを目的とする。アマゾン、アジア、アフリカの熱帯雨林地域に着目し、地上フラックス観測・衛星データ・陸域生物圏モデルの3手法を統合することで、現存の陸域植生モデルを評価し、向上させるための必要なポイントを抽出した。

2. 衛星データの利用による光合成推定の可能性

地上フラックス観測では、点スケールの生物物理量を測定できる。これを空間的に広げるために、衛星データを用いた広域化が行われている。熱帯域で、衛星データによる広域地表面生物物理量(今回は光合成量とした)把握の可能性を検討するために、今回は、Terra/MODISデータを用いて、アマゾン域の4つの地上フラックス観測サイトで観測された光合成量との比較を行った。

今回選択した4つのサイトで共通な特徴として、乾季に光合成が増加しているという特徴がある(図 1,2)。光合成量の季節変化と衛星データから得られる植生指数(SPOT 衛星/VEGETATION センサ)の季節変動を比較した場合、代表的な2種の植生指数である「Normalized Difference Vegetation Index (NDVI); 正規化植生指標」と「Enhanced Vegetation Index (EVI)」の両者では、大きな違いが見られた。すなわち EVI の季節変動パターンは観測

された光合成量の季節変化と似ているが、NDVI では観測された光合成量の季節変化と一致しなかった。これらの植生指標の特徴としては、NDVI は可視域に重きを置き、EVI では近赤外に重きを置いた植生指数となっている。乾季は、火災によるエアロゾルなどの影響で特に短波長側(可視光側)にノイズが検出される可能性が高くなっており、そもそも可視光では反射率が低いので、ノイズの影響が大きくなる。従って、EVI のような近赤外域に重きをおき、多少の大気ノイズを軽減効果を含む指数が、衛星を用いた光合成量のモニタリングには適切であることが分かった。

次に EVI の季節変動(光合成量の季節変化と仮定)の空間分布を解析し、降水量や日射の季節変化との関連性を解析した(図 3・4)。アマゾンにおいては、乾季(7-10 月)の期間に EVI が増加することがわかった。降水量が少ない時期に EVI が増加していることから日射の増加が重要な役割を果たしているだろう。また、アフリカでは、乾季に EVI が減少するために、降水量が重要な役割を果たし、アジアではタイなどでは乾季に EVI が減少するが、赤道付近では特に明瞭な EVI と気候の関連は見られなかった。

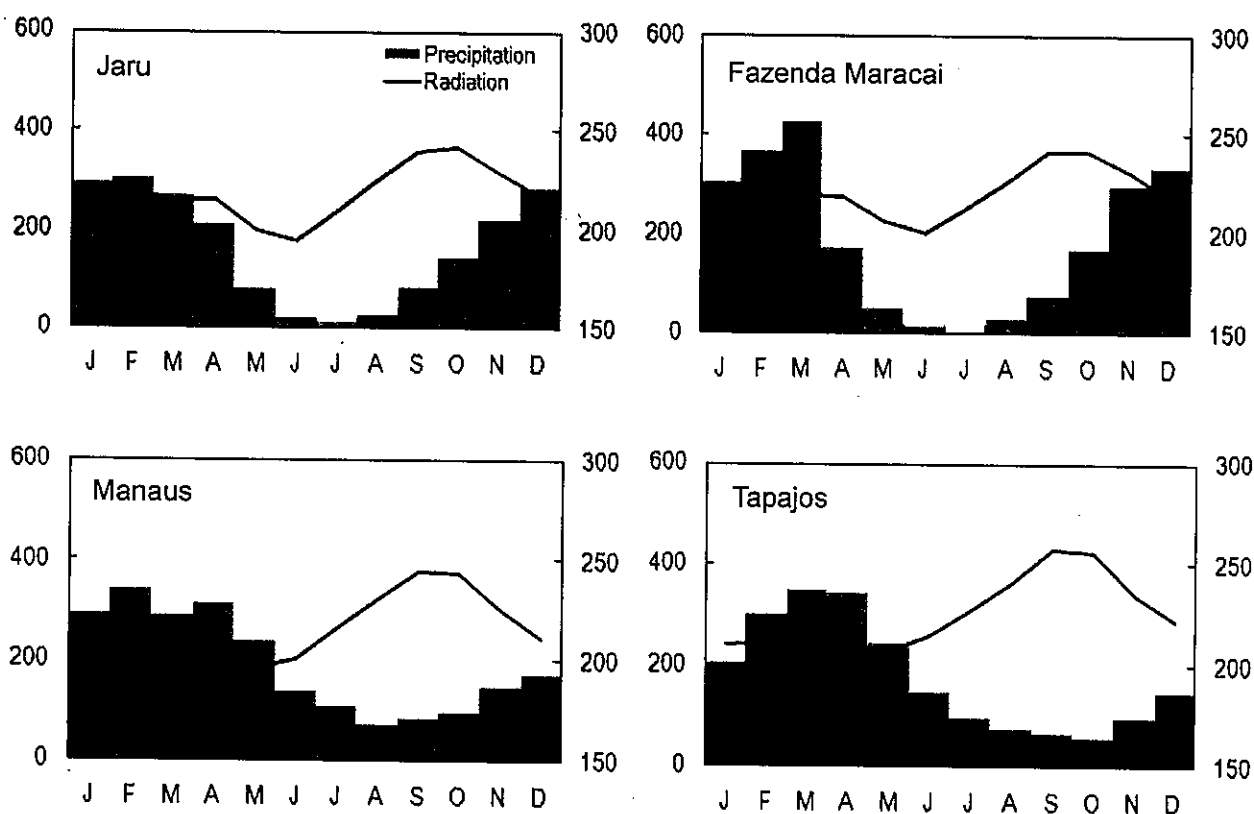


図 1. アマゾンの複数観測サイトにおける降水量・日射の季節変動。
左軸は降水量 [mm/月]、右軸は日射[W/m²]を示す。

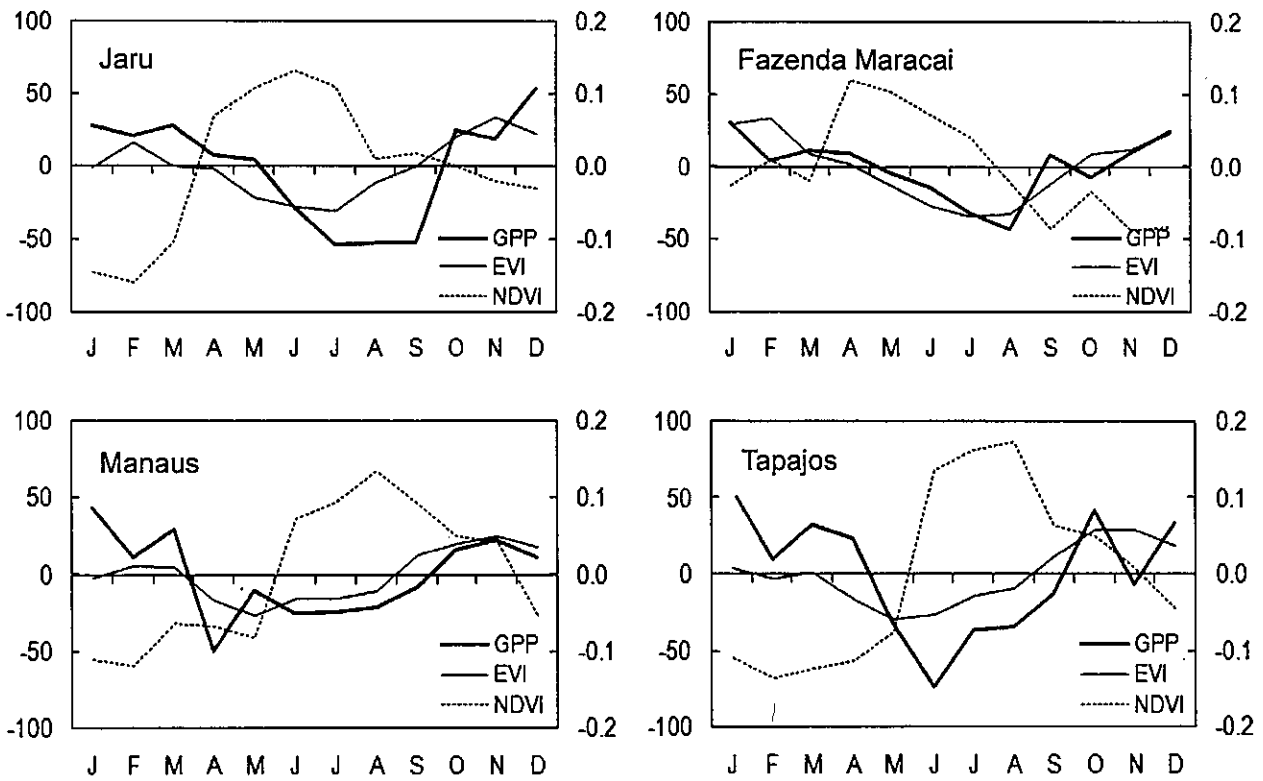


図2. アマゾンの複数観測サイトにおける光合成量・植生指数(EVI,NDVI)の季節変動。
左軸は光合成量[gC/m2/月]・右軸は植生指数の年平均値からの偏差を示す。

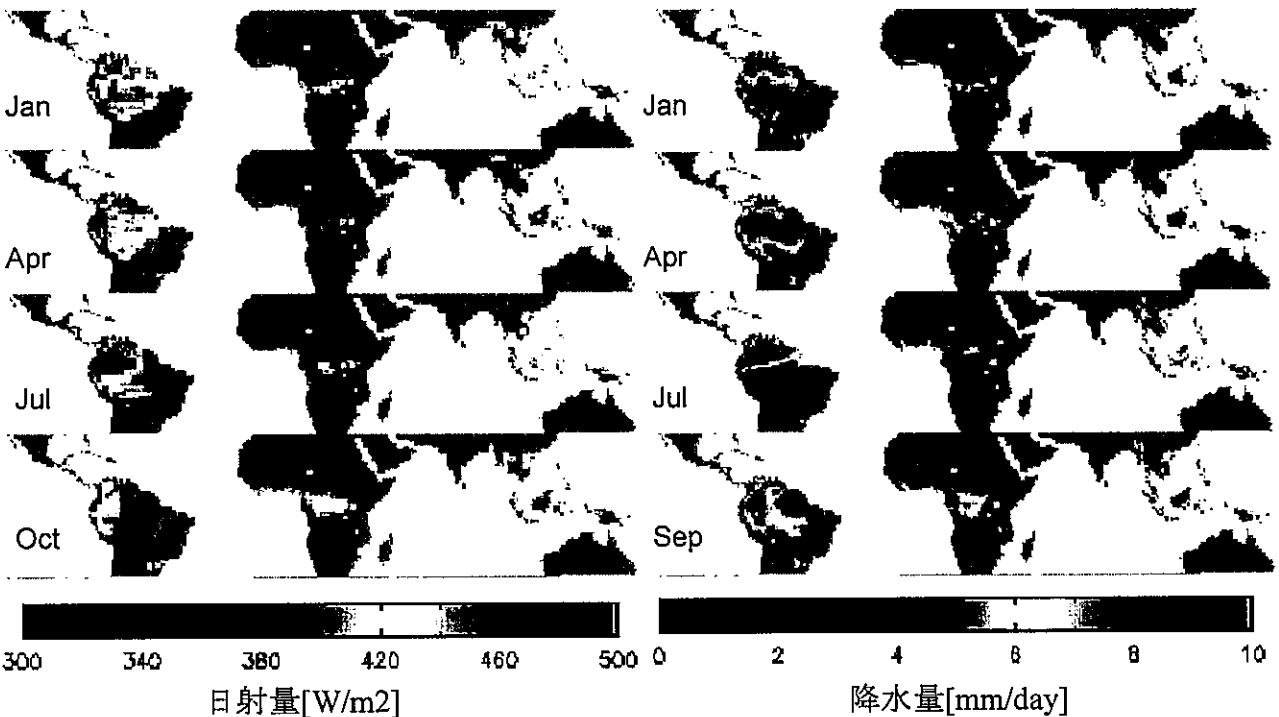


図3. 各熱帯域(アマゾン・アフリカ・アジア)における
日射量(GISS データセット)・降水量(GPCP データセット)の季節変動

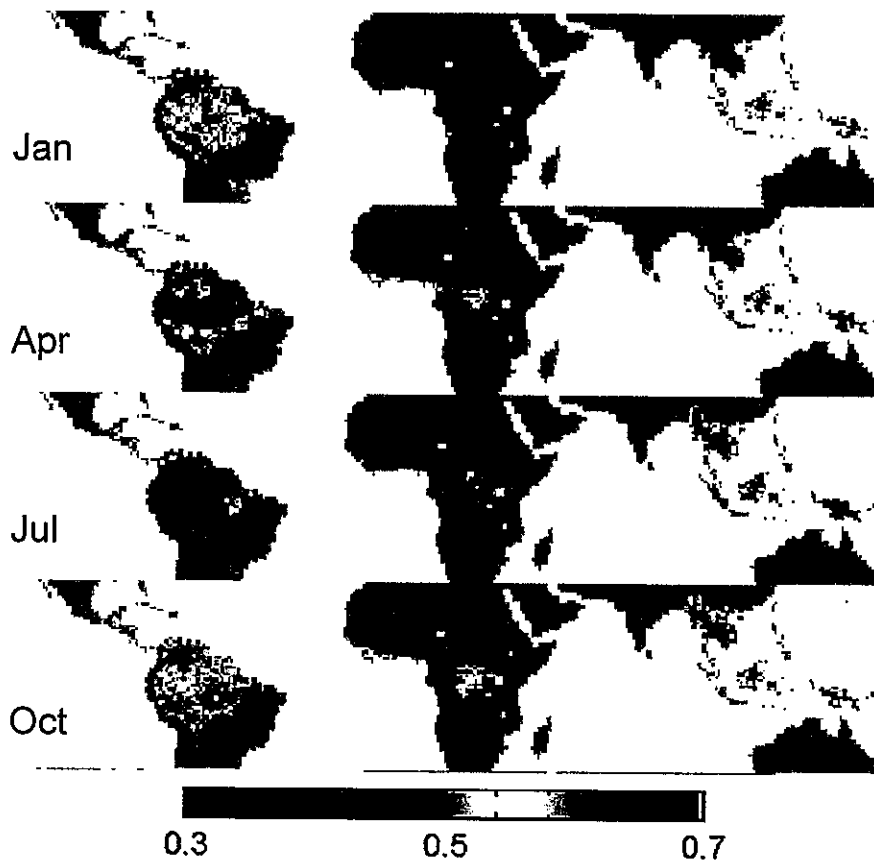


図 4. 各熱帯域(アマゾン・アフリカ・アジア)における EVI の季節変動

3. モデルによる光合成季節変動の再現について

衛星で観測された植生指数(EVI)の季節変動を光合成の季節変動と仮定して、Biome-BGC 陸域生態系モデルを用いて、光合成の季節変動の季節変動を再現した。光合成の季節変動を決定づける要因として植生の根の深さ(Rooting Depth)と仮定し、この深さを変化させることで最適な根の深さを推定することが目的である。

アマゾンの複数サイトにおける光合成の季節変動を再現するために、様々な根の深さを仮定してモデルを実行させ、根の深さが光合成季節変動に与える影響を調査した(図 5)。最も湿潤である Manaus では 3m 以上の根の深さを持っていると推定された。次に湿潤な Tapajos では 5m 程度の深さが必要となり、残りの 2 サイトでは 10m 程度の深さが必要となった。これらから乾燥度に応じて根の深さが異なることが推測された。

広域では(図 6)、アマゾン域では比較的乾季の長い南西部では、光合成の季節変動(図 4)を再現するには、深い根が必要である。またアフリカ域では根の長さは短い。アジア域では、タイなどでは深い根を持つことが推定された。

以上のことから、熱帯雨林の中でも、大陸や地域によって根の深さが異なり、衛星データを用いることでモデルの根の深さを決めることができ、モデル自体を向上させることが可能であることが分かった。

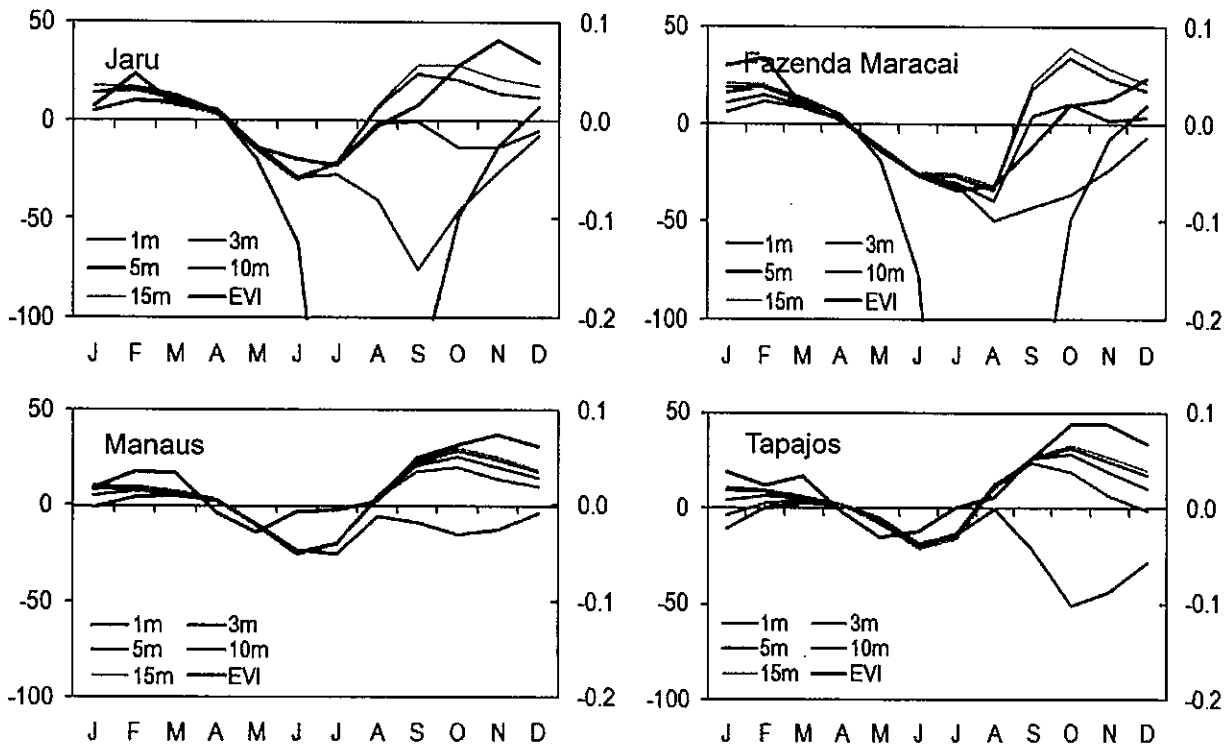


図5. アマゾンの複数観測サイトにおけるモデルからの光合成量と植生指数(EVI/NDVI)の季節変動。左軸は光合成量 $[\text{gC}/\text{m}^2/\text{月}]$ ・右軸は植生指数の3-5月平均値からの偏差を示す。

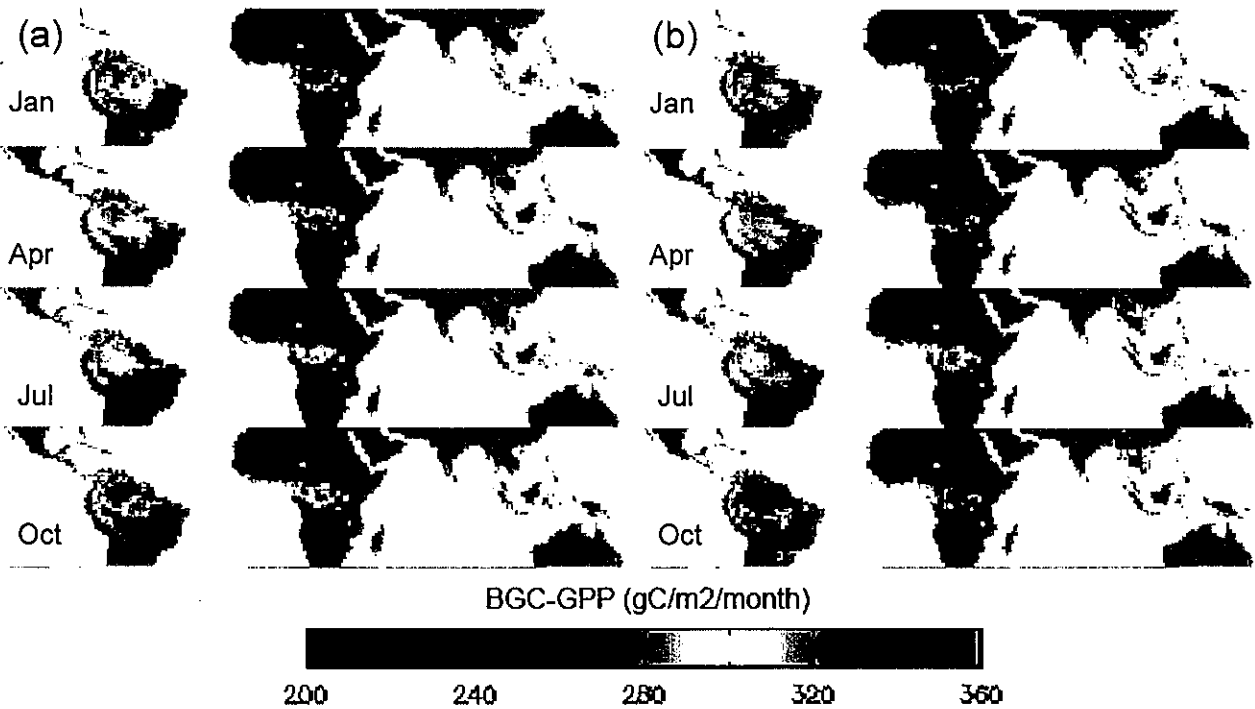


図6. Biome-BGCモデルによる光合成量の季節変動。(a)根の深さ1m、(b)根の深さ5m。

4. 生態系呼吸量のモデリング

次に、生態系呼吸量のモデルの検証と向上についての試みを行った。ブラジルの Tapajos における観測では、生態系呼吸の季節変動に関して、乾季に低く、雨季に高いという結果が得られている。従来のモデルでは、生態系呼吸量は気温に強く依存し、乾季では気温が高いため、生態系呼吸量は乾季に大きくなっていった。従って、観測を再現できていない。

観測結果を再現するために、土壌有機物分解に関する水分依存性に着目した。土壌有機物分解の水分依存性を決定する際に、本モデル(Biome-BGC)では土壌含水率を用いて計算された土壌水分ポテンシャルを用いている。実際には、土壌有機物は浅層に多く存在するために、土壌水分ポテンシャルを計算する土壌の深度を変更した。

図7において、土壌の深度を浅くしたところ、観測とほぼ同じ位相を持つ生態系呼吸量を再現することができた。しかし、土壌の深度を深くした場合には、季節変動が非常に弱くなった。従って、このサイトでの生態系呼吸の季節変動は、土壌の浅い部分の水分によって大きく制御されていることがモデルによっても示された。

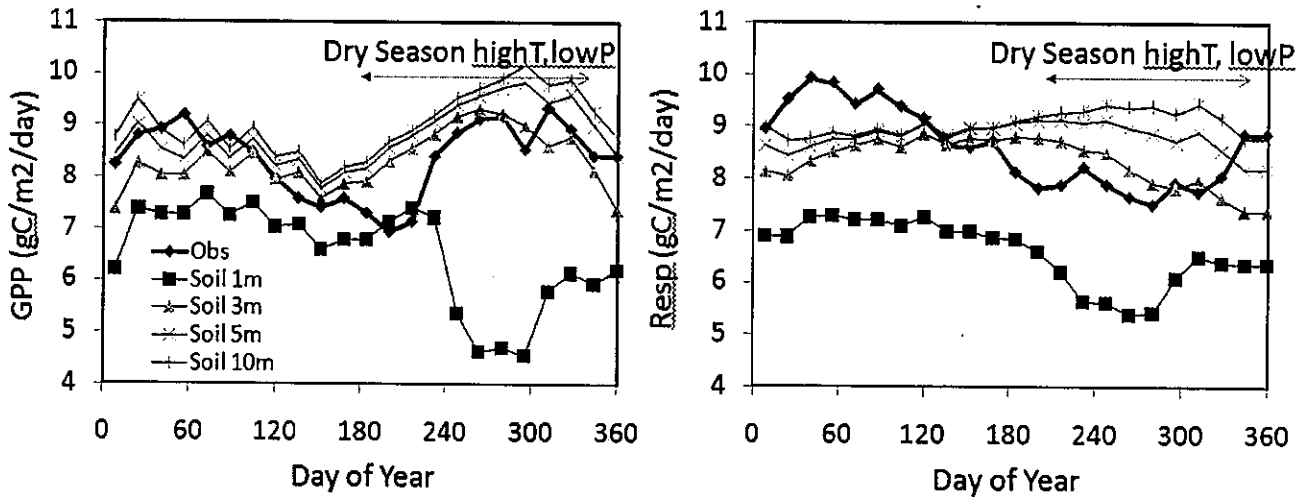


図7. アマゾン Tapajos サイトにおける光合成・生態系呼吸の季節変化(Obs; 観測, Soil Xm; モデル(根の深さ Xm))。モデルでは様々な根の深さを仮定し、光合成・呼吸への影響を見た。

5. まとめ

本研究では、地上観測・衛星観測・陸域生態系モデルの3手法を用いて、熱帯雨林の炭素循環モデルの検証を行った。光合成の季節変動を再現するには、根の深さが重要であり、衛星データを用いることで、空間的にも推定できることが分かった。生態系呼吸については、気温だけでなく水分による影響を正確にモデリングする必要があることが分かった。これらのモデルの精度向上によって、植生成長や呼吸に関して水分の役割が重要であることが分かり、温暖化予測結果にも影響を与えるであろうことが推測される。

参考文献

Ichii et al. (2007) Constraining rooting depths in tropical rainforests using satellite data and ecosystem modeling for accurate simulation of GPP seasonality. *Global Change Biology* 13, 67-77.

Huete et al. (2006) Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. *Geophysical Research Letters* 33, L06405, doi:10.1029/2005GL025583.

研究成果

市井和仁, 地上観測・衛星データを利用した陸域生物圏モデル向上への試み, 日本気象学会 2008 年春季学術講演会, 横浜, 2008 年 5 月.