研究課題名：全球気候モデル MIROC への新規陸域モデルの結合とその大気陸域相互作用研究への応用

課題代表者：国立環境研究所地球環境研究センター　花崎直太
共同研究者：国立環境研究所地球環境研究センター　伊藤昭彦
北海道大学大学院工学研究院　山田朋人
東京工業大学大学院情報理工学研究科　鼎 信次郎
東京大学生産技術研究所　沖 大幹

実施年度：平成 22 年度～平成 24 年度

1. 研究目的

近年の全球気候モデル（Global Climate Model, 以下 GCM）の時空間解像度の向上と温暖化研究の高度化に伴い、陸域過程が大気過程や海洋過程に及ぼすフィードバックの重要性が増し、GCM における陸域過程の精緻化が大きな課題となっている。本研究は１）陸面過程（熱収支と水収支）、２）生態系変動および炭素循環のプロセスに着目し、東京大学大気海洋研究所・国立環境研究所・海洋研究開発機構で開発した全球気候モデル Model for Interdisicplinary Researches on Climate (MIROC)の陸域過程の精緻化に資することを目的とする。

2. 成果１：陸面過程

人工衛星や現地観測により得られたデータを加工し、陸面過程モデルに与えることで得られる”準観測”土壌水分データを初期値として GCM による過去 10 年間の予報実験を実施し、1～2 か月スケールの水文気象諸量の予報精度がどの程度改善されるのか、気候システムにおける土壌水分の役割について予測という観点から議論を行った。

本研究では 1988 年夏に北米を襲った大旱魃（通称 The Drought of 1988）の予報スキルに与える土壌水分初期情報の影響について、大気メモリの期待出来ない予報開始後 31～45 日目に着目した。図 1 は地表 2m 気温（以降、地表気温）について Series-1（図 1-a）、観測値（図 1-b）、Series-2（図 1-c）の予報スキルを示した。この予報スキルとは 1986～1995 年 8 月上旬に対する 1988 年 8 月上旬の平均気温の偏差を意味する。図 1-b（観測値）より 1988 年 8 月上旬は平年値（1986～1995 年）と比較して北米のロッキー山脈から東部の広範囲にかけて温暖年であることがわかる。土壌水分情報に頼らない予報実験である Series-2 では、予報開始後 31～45 日目の結果として北米の旱魃を予報できていなことが確認できる。この大旱魃の発生原因として太平洋上の SST 偏差の重要性が指摘されているが、大気中のメモリは 1～2 週間程度とされていることからも、大気データに加え SST を予報初期値に利用しても大旱魃を準季節スケール（ここでは 31～45 日前）で予報することは困難である。一方、図 1-a の Series-1 は北米の中部から東部にかけて温暖年であることを 31～45 日前から予報している。つまり、大旱魃が発生する 1 ヶ月以上前から今年は温暖年の可能性があるという情報が得られること、水資源に関わる人間活動を行う上で何らかの事前対策が実施し得ることを示唆するものである。

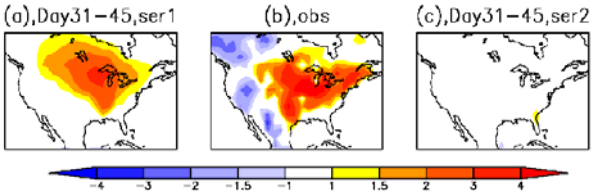

図 1　1988 年夏に北米を襲った大旱魃の予報スキル。いずれも 1988 年 8 月上旬の地表 2m気温を示す。図 1-a は大気変数と SST に加え土壌水分の初期値化を行った Series-1 の予報結果、図 1-b は観測値、図 1-c は大気変数と SST のみの初期情報による予報結果である。図中の色は 1986～1995 年の 8 月上旬の気候値（平均値）に対する 1988 年 8 月上旬の結果の偏差を示す。予報開始日: Series-1 と-2 ともに 1988 年 7 月 1 日。

2. 成果２：生態系変動

大気-陸域間の温室効果ガス交換を介したフィードバック効果を導入した結合モデル開発の一環として、off-line 実験による長期変動の解析を行った。陸域モデル VISIT は、植生および土壌の炭素・窒素循環を、生理生態学的な関係式と比較的シンプルなコンパートメントモデルを用いて推定するモデルである。

従来の研究により、陸域生態系の炭素収支には明らかな経年変動成分が存在することが示されており、その最も重要な要因は ENSO であることが示唆されていた。つまり、ENSO 発生年には太平洋低緯度域で高温・乾燥イベントが発生し、植生の光合成低下とともに呼吸放出増加が起こる（例えば 1997-98 年）。一方、ENSO 以外の気象テレコネクションの影響について研究例は少なく、特に長期変動に関してはほとんど分かっていなかった。本研究では代表的な気象テレコネクション指標であるエルニーニョ・南方振動[ENSO]、太平洋十年規模振動[PDO]、大西洋数十年規模振動[AMO]と陸域炭素収支の相関を求めた。この結果、陸域炭素収支には数ヶ月～数年の変動に加えて、数十年規模の変動成分がある可能性が示された（図 2）。

4.　成果３：人間活動

最後に全球水資源モデル H08 の人間活動に関するモデルのコードを陸面仮定モデル MATSIRO に移植した（図 3）。また、関連する諸問題の改良も並行して行った。

まず人間活動が扱えるようになった MATSIRO の性能評価を実施した。MATSIRO に信頼性の高い全球格子気象データと最新の土地被覆データを与え、1986-1995 の 10 年分のシミュレーションを行った。ここで我々が着目したのは、土壌水分、積雪量、河道内貯水量、ダム貯水量などの陸域貯水量である。これらのモデル出力値を衛星重力ミッション GRACE による観測と比較した結果、おおむねよい再現性を示し、少なくとも H08 よりも性能が格段に向上したことが確認できた。

続いて、モデルを使って 20 世紀後半の長期シミュレーションを実施した。20 世紀後半は灌漑面積が飛躍的に拡大し、大規模ダムが多数建設された期間であり、この期間中の地球の水循環に対する人間活動の影響は大きな関心事となっている。我々は①自然の貯水量（土壌水分、積雪量、河道内貯水量の変動）、②貯水池貯水量（貯水池建設による陸域貯水量の増加）、③地下水量（地下水くみ上げによる陸域貯水量の減少）の経年変化を求めた。この結果、②と③が 1980 年頃まで拮抗したものの、以降③が凌駕し、陸域貯水量が減少しているという結果を得た。なお、②や③と比較すると①の長期的な効果は小さかった。陸域貯水量の減少分は長期的には海洋に加えられるため、２０世紀中の人間活動の影響は海面上昇に正の影響をもたらすことをこの結果は示唆している。

3.　昨年度までの計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 5　CPU 時間　1 ノード未満 : 0.348 hours, 1 ノード : 0.610 hours, 2 ノード : 0 hour,　計 : 0.958 hours

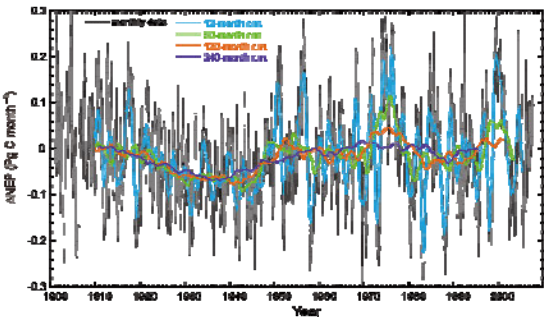

図 2　陸域モデルによって再現された 1901～2005 年の陸域正味炭素収支アノマリー（黒線）。異なる移動平均時間で平滑化された曲線（色付）も示されている。

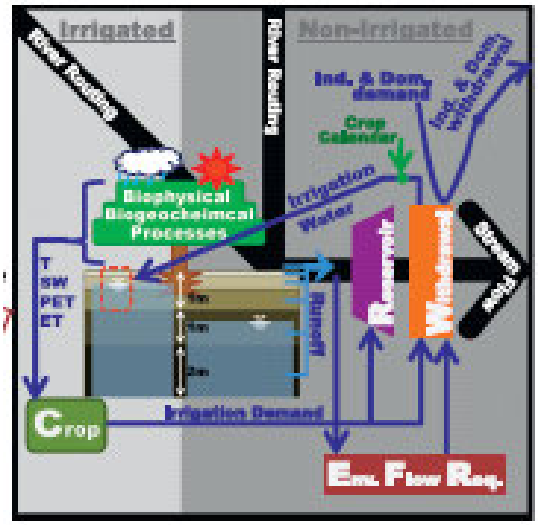

図 3　人間活動を考慮した陸面過程モデルの概念図 Pokhrel et al. (2012, Journal of Hydrometeorology) の図 1 を一部改変。