

## 気候変動適応研究推進プログラム(RECCA)

### 気候変動に適応する河川・水資源地域管理システムの開発

#### ■気候変動適応研究推進プログラムとは

気候変動適応研究推進プログラム（文部科学省）は、気候変動予測の成果を都道府県あるいは市区町村などの地域規模で行われる気候変動適応策立案に科学的知見として提供するために必要となる研究開発を推進するプログラムです。将来の気候変動影響を考慮した適応策の立案には科学的根拠となる気候変動予測情報が不可欠となりますが、現在の気候変動予測の空間解像度は地域規模の検討に使用するには粗いなどの課題も指摘されており、気候変動予測の時間的、空間的な分解能を向上させることや予測に含まれる不確実性を低減することが必要です。また全球規模の気候変動予測成果を利用する気候変動適応シミュレーションは、対象地域の社会的な実情を十分に考慮することによって効果的な適応策立案に必要な科学的知見を政策決定者や利害関係者に提供できるものと期待されます。

#### ■「気候変動に適応する河川・水資源地域管理システムの開発」について

気候変動適応研究推進プログラムは、水領域 4 課題・都市領域 5 課題・農林漁業領域 3 課題により構成されていますが、水領域 4 課題の内の 1 つが「気候変動に適応する河川・水資源地域管理システムの開発」です。本研究課題では、台風や梅雨前線豪雨による大規模水害や局地的豪雨(ゲリラ豪雨)による都市水害に対して大きなリスクを持ち、また治水においても長期渇水に対する十分な備えがない首都圏及び周辺地域を対象とし、気候変動に伴う水災害リスクの低減に必要な技術開発を行っています。

首都圏の水災害（洪水・渇水）のリスクは気候変動に伴って増大します。一方、適応策の意思決定にあたっては、地域規模の水災害リスクの定量的な把握と構造物によらない適応策の有効性の評価が求められ、その際、現在の気候変動予測の不確実性を考慮する必要があります。本研究課題では、以下の 3 つの研究テーマを推進することによりダウンスケーリング、データ同化、流域水循環シミュレーションに関わる手法開発を行い、データ統合・解析システム(DIAS)を活用して適応のための構造物によらない河川・水資源管理システムを開発します。また気候変動による首都圏の水循環変動を理解した上で水災害リスクの変化の定量化と適応策による水災害リスク低減の評価も行い気候変動による首都圏の水循環変動を明らかにし、開発する管理システムを用いることにより首都圏の水災害リスクを低減させるための適応策立案に貢献したいと考えています。

#### 1. 研究テーマ 1:気候差分ダウンスケーリング法の開発

本研究テーマでは、独立行政法人海洋研究開発機構を中心に全球気候モデル（GCM）の複数のモデル出力を効果的に用いた地域気候変化予測のためのダウンスケーリング手法（気候差分ダウンスケーリング法）を開発します。これは同機構により過去に開発された

擬似温暖化手法(PGW 法)をもとにして開発する力学的ダウンスケーリング手法であり、また多数の GCM の特定の統計値(平均など)をダウンスケールすることが可能となります。本研究テーマでは、開発する手法を用いて、関東域の降水の気候変化を予測する領域気候モデル(RCM)実験を最終的には雷雨などの雲・降水を直接表現できる 2km 程度の高解像度で行います。また多数の GCM を効果的に用いた複数の実験を行うことで、確率論的に地域スケールの降水の気候変化予測を試みます。更に気候ダウンスケーリングの一つとしてこの手法を確立させることを通じて、GCM 出力を効果的に用いた地域規模の災害外力算定における不確実性を低減することを目的としています。

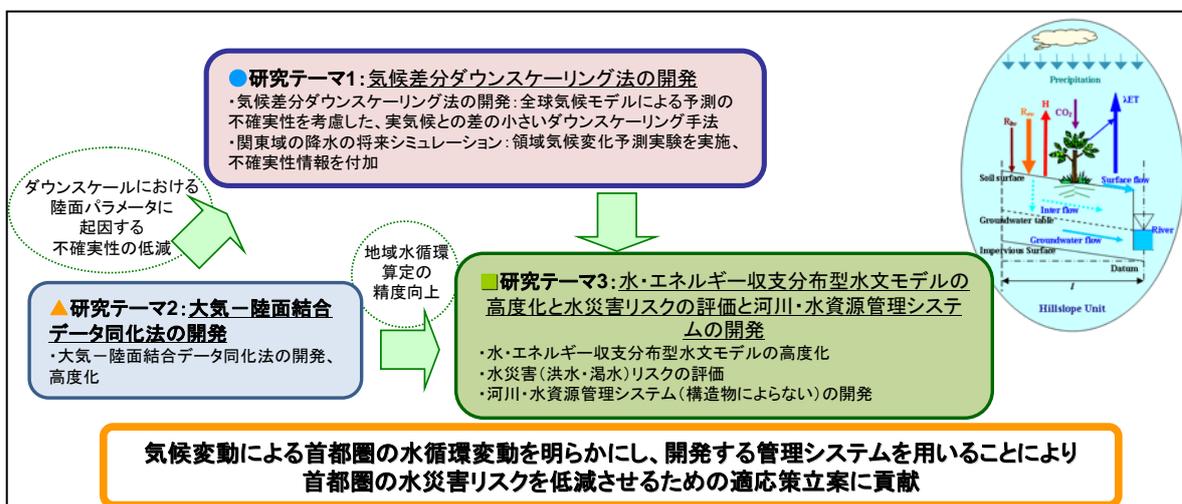
## 2. 研究テーマ 2:大気-陸面結合データ同化法の開発

本研究テーマでは、陸面データ同化システム(LDAS: Land Data Assimilation System)に別途開発済みの雲微物理データ同化手法(CMDAS)を結合した大気-陸面結合データ同化法を開発し、モデル出力の降水や日射量を補正しながら長期間(2~3 ヶ月)適用することにより陸面モデルのパラメータの最適推定を行い、土壌水分や地温の再現精度を検証します。このようにして求められた陸面スキーム(定式化された陸面過程)を研究テーマ 1 の気候差分ダウンスケーリング法に用いる次世代メソスケール数値天気予報非静力学大気モデル(WRF: Weather Research and Forecasting)に組み込むことによって力学的ダウンスケールにおける不確実性を低減するとともに、研究テーマ 3 の水・エネルギー収支分布型水文モデルに組み込んで、短期洪水予測など地域水循環の算定精度の向上を目指しています。

## 3. 研究テーマ 3:水・エネルギー収支分布型水文モデルの高度化と水災害リスクの評価と河川・水資源管理システムの開発

本研究テーマでは、大気モデルの出力を受けて自立的に降雪・積雪・融雪を計算するスキーム(手法、定式)を開発し、既開発の水文水収支分布型流出モデル(WEB-DHM: Water and Energy Budget-based Distributed Hydrological Model)に組み込んで、利根川上流域の観測データを用いて検証します。また WEB-DHM に組み込まれている斜面方向の地下水流動モデルを拡張し、首都圏各地域の地下水データで検証します。更に気候変動に伴う洪水、渇水の災害外力(ハザード)の変化を用いて、首都圏の洪水、渇水リスクの変化を算定します。洪水リスクについては、国土交通省関東地方整備局によって実施されている首都圏各河川(利根川、荒川、多摩川、鶴見川、相模川)の治水経済調査結果、並びに地方自治体が発行する水防活動の支援を目的として提供される現行の洪水情報とそれへの対応を参照として、洪水ハザードの変化に伴う洪水リスクの変化を算定します。渇水リスクについては、農業、工業、生活用水の近年の需要動向を踏まえ、また利根川、荒川における河川管理者と利水者による渇水対策連絡協議会での渇水調整の基準に基づき渇水ハザードの変化に伴う渇水リスクの変化を算定します。さらに適応のための non-structural な河川・水資源管理システムについて、洪水アンサンブル予測を用いたダム最適運用や地方自治体

の水防活動への情報提供による洪水リスクの低減、積雪・融雪量の観測・予測情報や湧水時の地下水変動予測情報を用いた湧水リスクの低減などの手法を開発し、評価することを目的としています。



## ■実施体制

共同研究参画機関

海洋研究開発機構

協力連携機関

国土交通省関東地方整備局【一都六県(東京都、群馬県、栃木県、茨城県、千葉県、埼玉県、神奈川県)、内閣府中央防災会議】

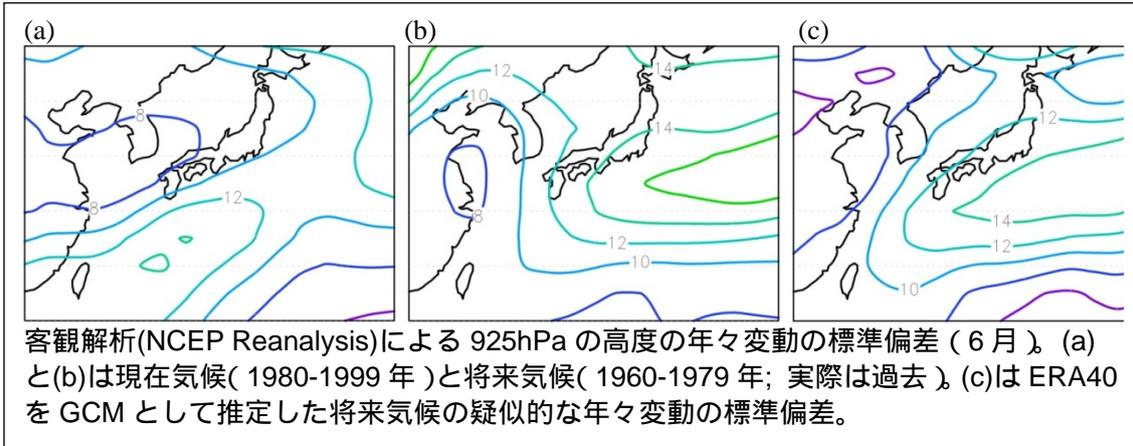
## ■これまでの成果

### 1. 研究テーマ1

#### (1) 手法開発(境界値作成法の開発)

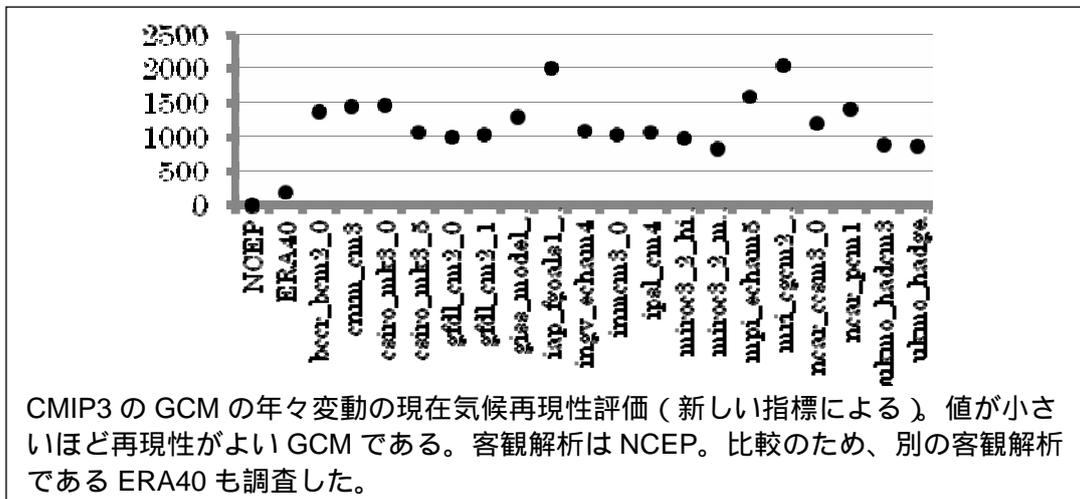
擬似温暖化手法(PGW法)において不変としている年々変動の気候変化を取り込む手法を開発しました。次図は、本手法を取り入れて実施した答えの分かっている実験の結果です。

(a)と(b)はそれぞれ、客観解析の現在と将来の年々変動の標準偏差パターンです。また(c)はこの手法で推定した疑似的な将来の年々変動の標準偏差パターンですが、(b)と(c)が良く似ており、本手法による推定が良好であることが分かります。



## (2) 手法開発(実験設計)

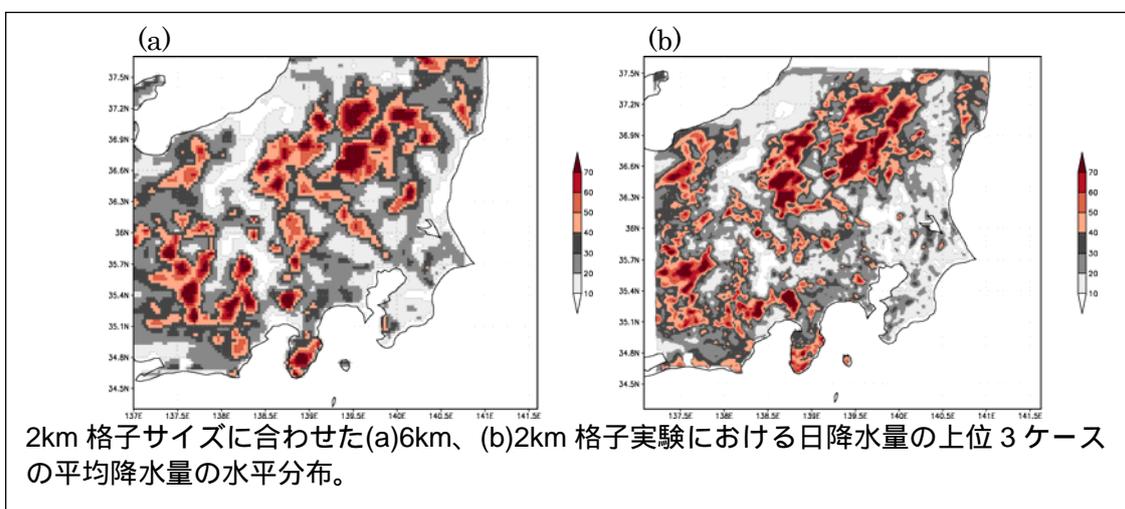
複数のGCMを用いてダウンスケーリングを行う際、GCMを選択もしくは集約することで、どのGCMを適用すべきかを考える必要がありますが、本研究テーマでは、その指標を開発しました。次図は、本指標によりCMIP3の日本付近の6月の年々変動の気候再現性を評価したものです。本指標では、値が小さいほど年々変動の再現性がよいGCMであることを示しています。



## (3) 領域モデルの調整および現在気候再現実験と検証

領域気候モデル(RCM)を用いた気候シミュレーションのために、領域モデルの調整や現在気候再現実験の検証を領域大気モデルWRFを用いて行いました。なおWRFの対流パラメタリゼーションオプションの中からKain-Fritsch(KF)スキームを選択し併用したところ、明らかにKFスキームの併用では降水量が過剰となったため6km格子実験ではKFスキームを併用しないこととしています。次図は、2km格子に合わせた6-2kmの夏季にお

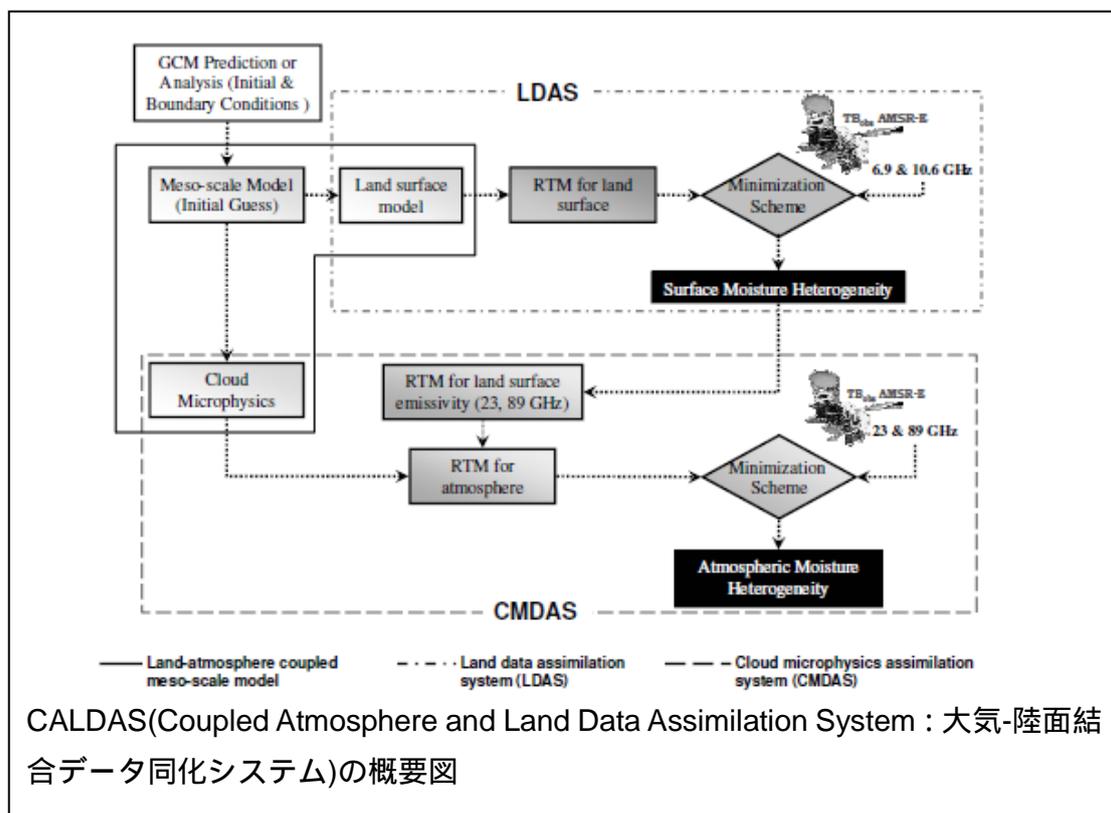
ける日降水量の上位 3 ケースの水平分布を示したものです。これは日雨量で見たときの大  
 雨の強さに関係したものです。大まかなパターンは、6km 実験結果と大きくは変わらないこ  
 とが分かりますが、これは 2km 格子実験の結果の精度が、6km 格子実験の結果に大きく依  
 存し、6km 実験の再現性向上が重要な課題であることを示唆しています。また 2km 格子実  
 験は 6km 格子実験の降水量と比較して、分布がより詳細に表現されています。これは 2km  
 格子の細かな地形に応答していることを意味しており、特に中部山岳域にそった小規模の  
 降水現象を詳細に再現しています。6km 格子実験では、個々の積乱雲などを表現するには  
 やや粗いため、現実よりも大きなスケールの対流を作ってしまう。ゆえに、大きめの  
 スケールの塊状の降水分布が出やすくなり、分布に特定の偏りが生じ、その偏りが 2km 格  
 子実験で解消され、より現実に近い分布になっているものと思われる。



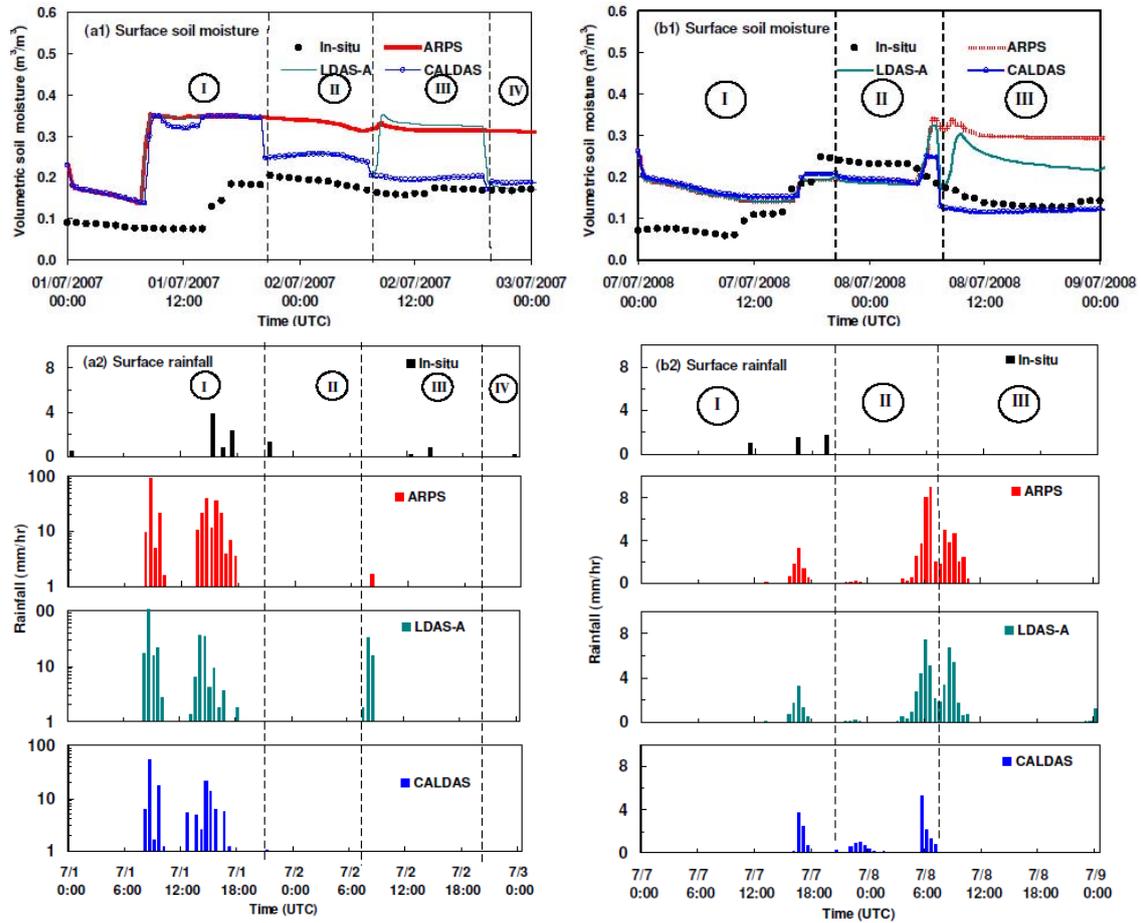
## 2. 研究テーマ 2

本研究テーマでは、大気と陸面とを結合した新たなデータ同化手法である  
 CALDAS(Coupled Atmosphere and Land Data Assimilation System: 大気-陸面結合デー  
 タ同化システム)を開発しました。CALDAS は、ARPS-SiB2(Advanced Regional Prediction  
 System- simple biosphere model: 大気 - 陸面結合メソスケールモデル)、LDAS(Land Data  
 Assimilation System: 陸面データ同化システム)および CMDAS(Cloud microphysics Data  
 Assimilation System: 雲微物理データ同化システム)の 3 つのサブコンポーネントにより構  
 成されます。LDAS は、モデル操作子(Model operator)としての陸面スキームと観測操作子  
 (Observation operator)としての陸面マイクロ波放射伝達モデルを持ち、衛星マイクロ波輝  
 度温度データ(6.9GHz, 10.6GHz)を同化するシステムです。また CMDAS は、モデル操  
 作子(Model operator)としての雲微物理スキームと観測操作子(Observation operator)とし  
 ての大気 - 陸面マイクロ波放射伝達モデルを持ち、衛星マイクロ波輝度温度データ(23GHz,  
 89GHz)を同化するシステムです。CALDAS は、境界条件として LDAS により修正された

地表面放射、CMDAS により修正された大気水分量(水蒸気・雲水・霰・雨粒・雪)を利用し、大気と地表面が結合されたメソスケールモデルにより地表面と大気の状態をシミュレートして LDAS と CMDAS を稼働させるために必要な初期条件を出力するシステムです。



次図は、2007年7月1日から2日までと2008年7月7日から8日までの Gaize ステーションにおける土壌水分の地上観測値と ARPS・LADS-A・CALDAS(本研究テーマにおいて開発)によりシミュレートされた推定値を比較したものです。ARPS は、この非現実的な降雨予測によりシミュレーションの終了まで大きなバイアスを含む土壌水分を予測し続けていますが、期間 と の境界である2007年7月1日20:30(UTC)においてLDAS-AとCALDASは非現実的な降雨予測により引き起こされたバイアスを除去し、地表面状態を再初期化することができます。しかしLDAS-Aは、期間 と の境界における同化により地表面状態の再初期化に成功するものの期間 と の境界における同化において瞬間的に発生する非現実的な降雨による影響を受け、区間 における大きなバイアスを発生させてしまっています。それに対してCALDASは、2008年のシミュレーション共に良好な地表面状態を再現しています。

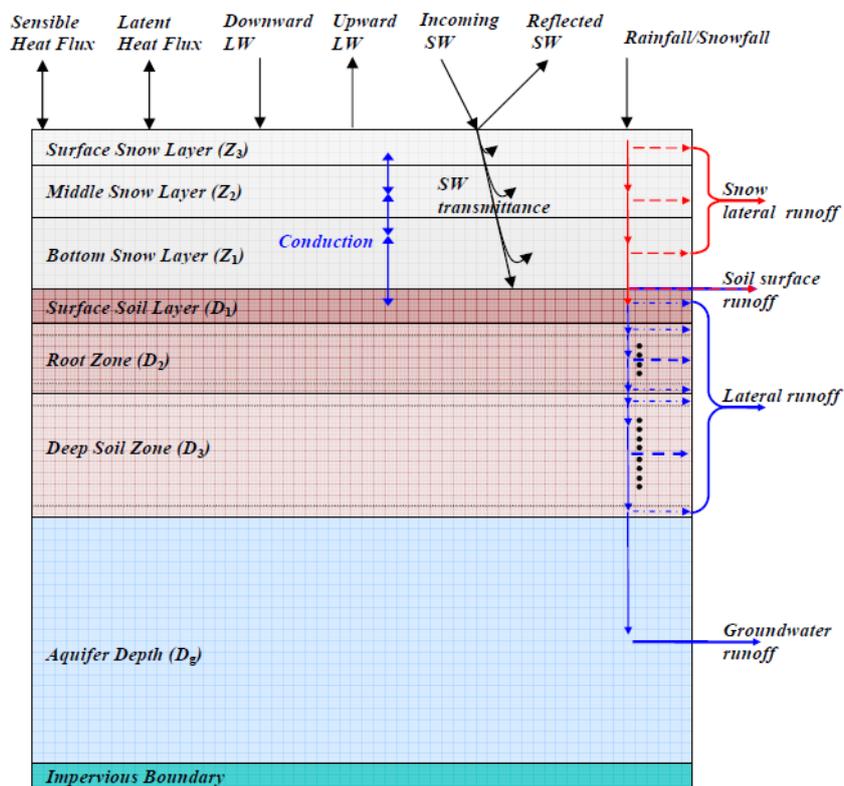


2007年7月1日～2日・2008年7月7日～8日を対象にGaizeステーションにおける土壌水分の地上観測値とARPS・LADS-A・CALDASによりシミュレートされた推定値を比較した結果:(a1) 2007年7月1日～2日における土壌水分、(b1) 2008年7月7日～8日における土壌水分、(a2) 2007年7月1日～2日における降雨量(上から地上観測値、ARPS予測値、LDAS-A予測値、CALDAS予測値)、(b2) 2007年7月7日～8日における降雨量(上から地上観測値、ARPS予測値、LDAS-A予測値、CALDAS予測値)

### 3. 研究テーマ 3

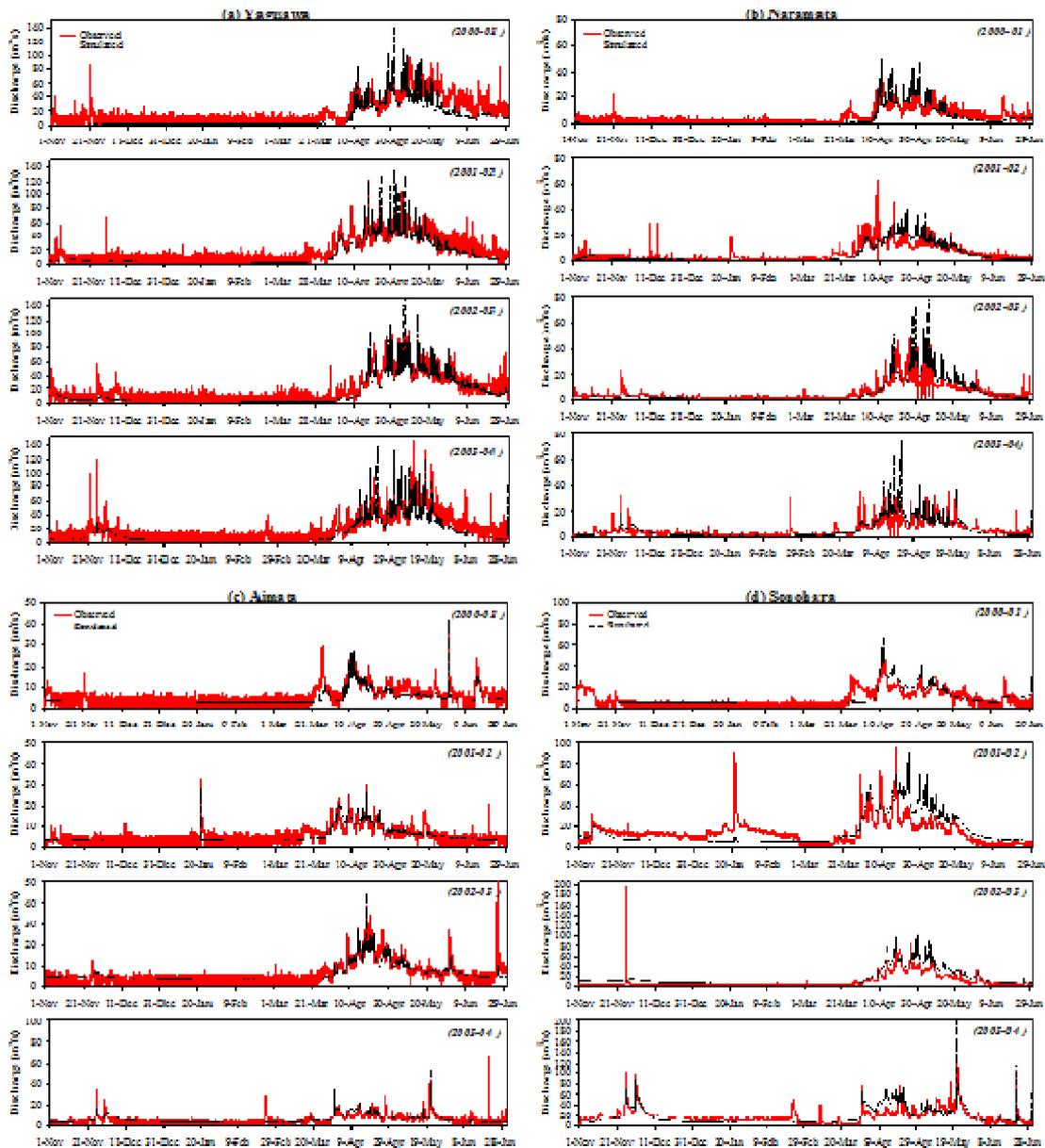
本研究テーマでは、大気モデルの出力を受けて自立的に降雪・積雪・融雪を計算するスキームを開発し、WEB-DHM(Water and Energy Budget based Distributed Hydrological Model)に組み込んだ WEB-DHM-S を開発しました。本スキームでは、特に積雪が 5cm を越えた場合の積雪スキームが改良されています(積雪層を同一の雪温の初期値を持つ 3 層に分割：上層は雪面温度の日変化を合理的にシミュレートするために積雪の深さにかかわらず 2cm に固定。中間層は最大の厚さ 20cm までの変化を許容した層。下層は総積雪深から上層・中間層を差し引いた厚さとして設定)。またエネルギー収支に関しては、雪面のみが放射収支と潜熱・顕熱フラックスにより影響を受けるためエネルギー収支式を上層のみに適用し、中間層・下層の熱収支は、熱伝導と短波放射によって制御しています。

この 3 層の積雪は、各層のエネルギー収支と熱交換により各々発達します。すなわち、各層の物質収支は、降雪量・蒸発・圧雪・圧密・保有液体量・融雪水の下層への浸透などにより計算されます。また融雪時の融雪水の増加は、層平均の密度と物質量を増加させ、液体水の含有許容量を超過した融雪水を下層へ浸透させる方法をとっています。

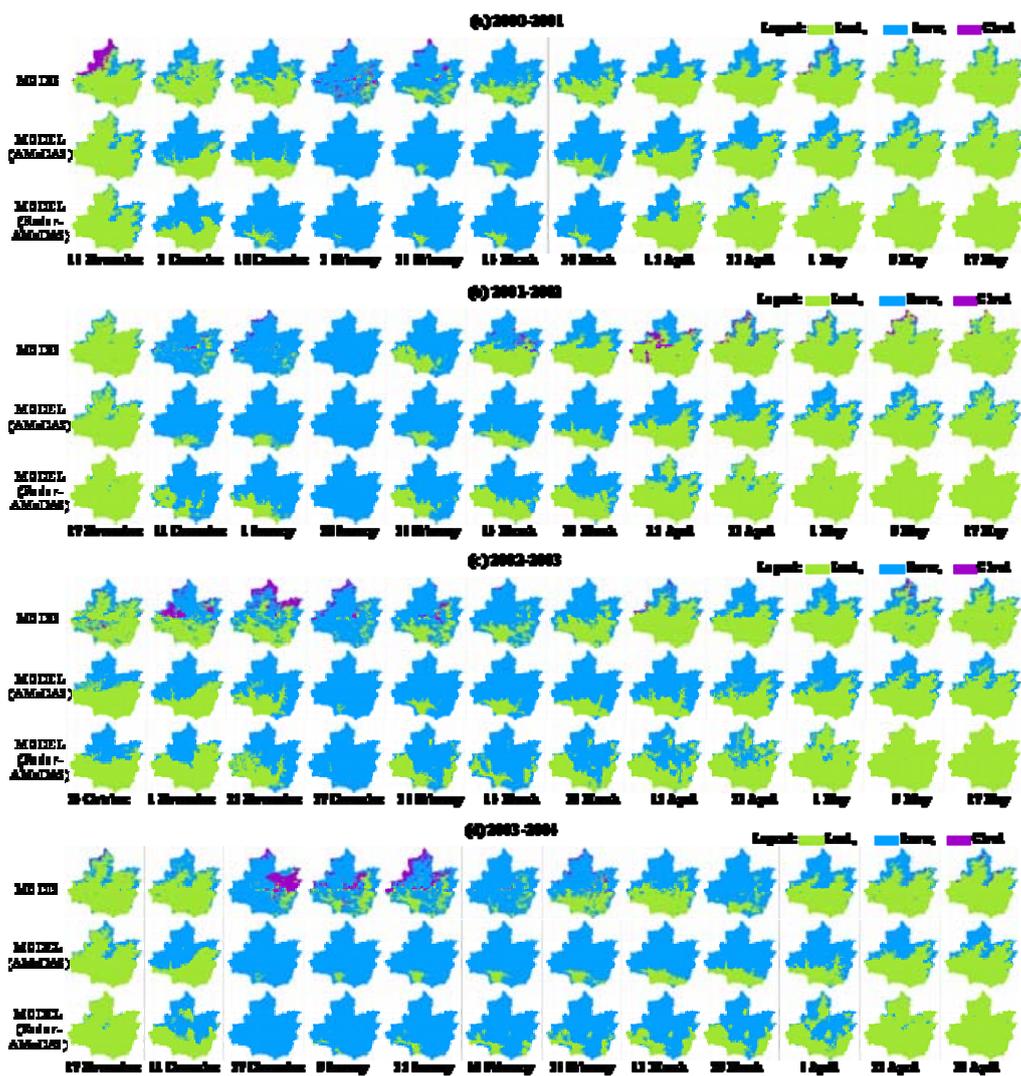


### WEB-DHM-Sにおける土壌モデルと3層積雪モデルの結合

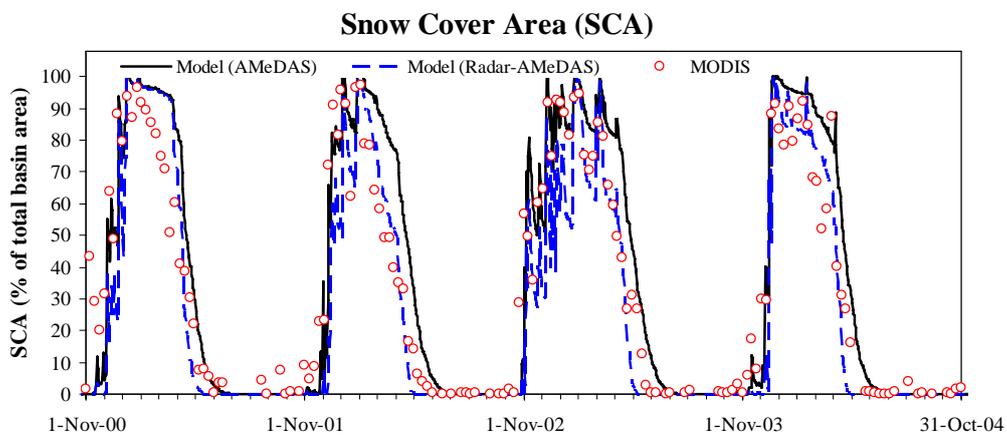
また WEB-DHM-S を利根川上流域の観測データを用いて検証しました。その結果、以下に示すように、流出量、積雪域、積雪深、融雪量、蒸発量のシミュレーションにおいて良好な結果が得られています。



2000年から2004年までの積雪－融雪期(11月～6月)におけるレーダー  
 AMeDAS降水量に対する各ダムの流出量: 赤線)観測値、黒線)シミュレーション、  
 (a) 八木沢ダム, (b)奈良俣ダム, (c)相俣ダム, (d)藪原ダム

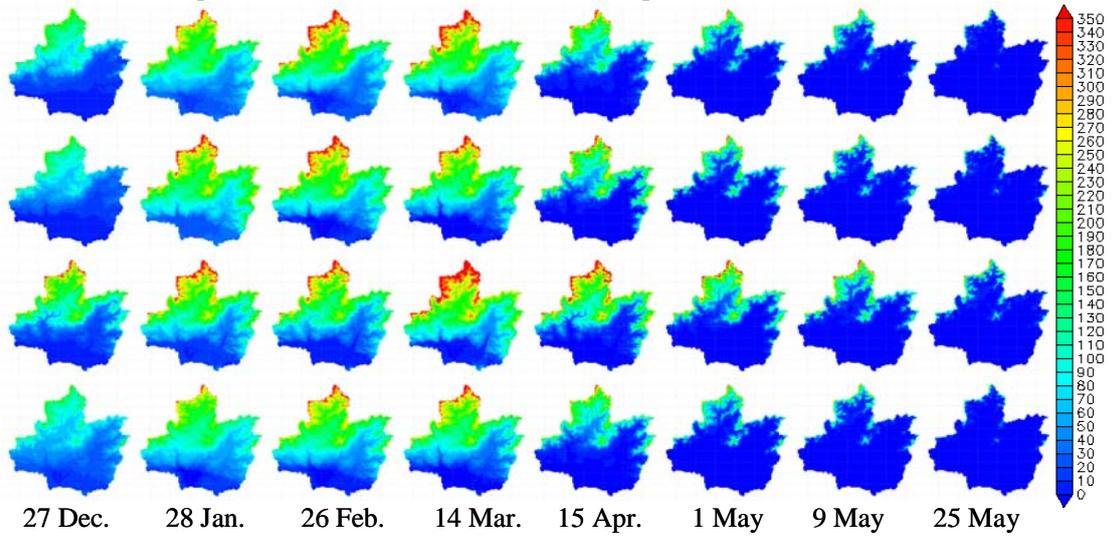


奥多摩流域における4年間(2000年-2004年)のMODIS積雪域マップと AMeDAS とレーダー-AMeDASの降雪量に基づく積雪域の空間分布のシミュレーション結果との比較



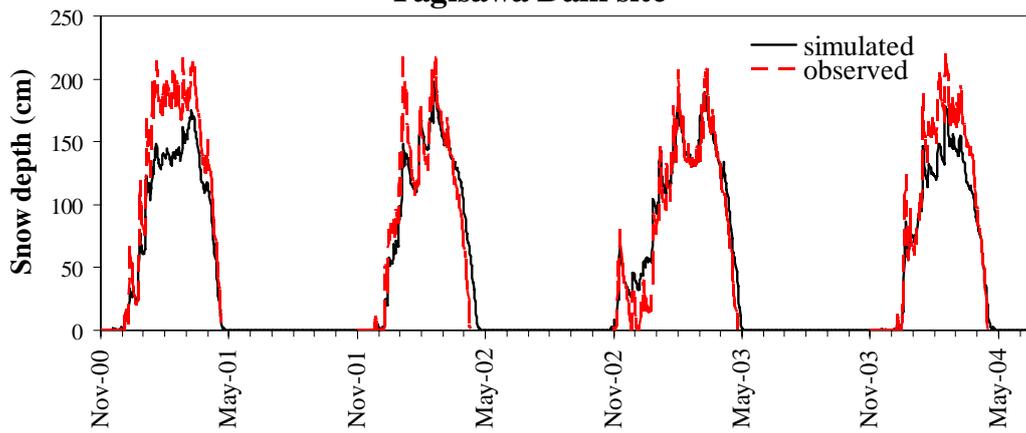
奥多摩流域における4年間(2000年-2004年)の積雪域の季節変動

Snowdepth (cm) results for 2000/01-2003/04(top to down) at selected dates



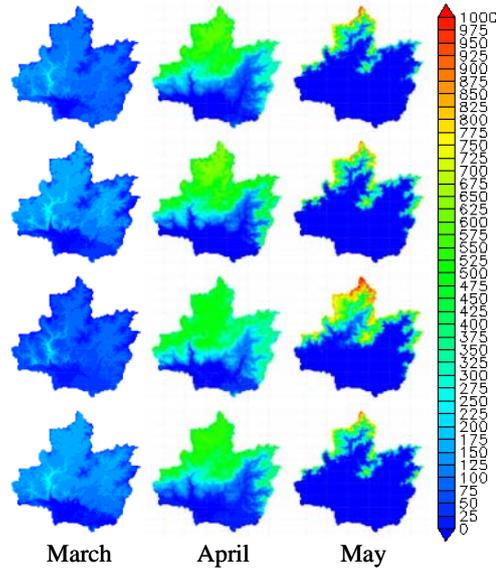
積雪深(cm)の空間分布: 上から2001,2002,2003,2004年

Yagisawa Dam site



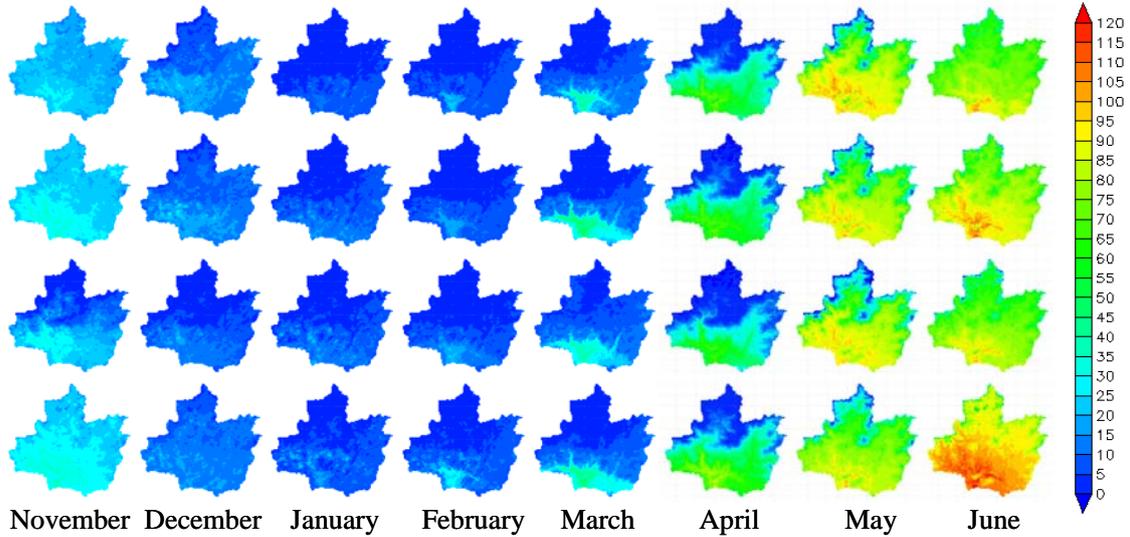
八木沢ダムサイトにおける積雪深(cm)比較: 左から2001,2002,2003,2004年

Cumulative Melt out (mm) in March- May  
for 2001-2004 (top to down)



3月から5月にかけての融雪量(mm)の空間分布: 上から2001,2002,2003,2004年

Cumulative Evapotranspiration (mm) from November to June for 2000/1-2003/4(top to down)



11月から6月にかけての蒸発量(mm)の空間分布: 上から2001,2002,2003,2004年

## ■2010 年度成果公表

### < 論文 >

- 1) Mohamed Rasmy, Toshio Koike, David N Kuria, Cyrus R Mirza, Souhail Boussetta, Hui Lu, Xin Li and Kun Yang,: Satellite based land and atmosphere coupled data assimilation system for improving numerical weather prediction, Journal of Geophysical Research, 2010.
- 2) Mohamed Rasmy, Toshio Koike, Souhail Boussetta, Hui Lu, Xin Li, Xiangde Xu,: Development of a system for satellite based land data assimilation coupled with an atmospheric model, IEEE Transaction on Geoscience and remote Sensing, vol. PP Issue:99, pp 1-16, March 2011.
- 3) Patricia Ann Jaranilla-Sanchez, Lei Wang, and Toshio Koike, Modeling the hydrologic responses of the Pampangga River Basin, Philippines: A quantitative approach for identifying droughts, Water Resources Research, 2010 (Accepted).
- 4) Shrestha, M., L. Wang, T. Koike, Y. Xue, and Y. Hirabayashi (2010): Improving the snow physics of WEB-DHM and its point evaluation at the SnowMIP sites. Hydrol. Earth Syst. Sci., 14, 2577-2594, doi:10.5194/hess-14-2577-2010.
- 5) Shrestha, M., Wang, L., Koike, T., Xue, Y., and Hirabayashi, Y.: Modeling the spatial distribution of snow cover in the Dudhkoshi region of Nepal Himalaya, 2010, Journal of Hydrometeorology (Major Revision).
- 6) Maheswor SHRESTHA, Lei WANG , Toshio KOIKE, SIMULATION OF INTERANNUAL VARIABILITY OF SNOW COVER AT VALDAI (RUSSIA) USING A DISTRIBUTED BIOSPHERE HYDROLOGICAL MODEL WITH IMPROVED SNOW PHYSICS , 水工学論文集第 55 巻, pp73-78, March 2011.
- 7) 上田隆・小池俊雄・Lei WANG, 分布型水循環モデルと衛星観測を用いた土壌水分と地下水シミュレーション , 水工学論文集第 55 巻, pp373-378, March 2011.
- 8) 瀬戸里枝・小池俊雄・Mohamed RASMY, 陸面データ同化を用いたチベット高原での対流の挙動と大気加熱プロセスに関する研究 , 水工学論文集第 55 巻, pp319-324, March 2011.

### < 会議等での口頭発表 >

- 1) Patricia Ann J. Sanchez, Wang Lei and Toshio Kioke: Drought indices and climate change impact assessment, The 7th Meeting of the GEOSS/AWCI International Coordination Group (ICG) Meeting, Tokyo, Japan, 5-6 October 2010.
- 2) Rie Seto, Toshio Koike, Mohamed Rasmy, Y.: The convective behavior and the process of atmospheric heating over the Tibetan Plateau, The Second International Workshop on Energy and Water Cycle over the Tibetan Plateau and High Elevations,

Lhasa, China, 19-21 July 2010.

- 3) Shrestha, M., Wang, L., Koike, T., Xue, Y., and Hirabayashi, Y.: Modeling the spatial distribution of snow cover in the Himalayan river basin of Nepal with the improved snow physics in WEB-DHM, The Fourth International Workshop on Catchment-scale Hydrological Modeling and Data Assimilation, Lhasa, China, 21-23 July 2010.
- 4) Shrestha, M., Wang, L., Koike, T., Xue, Y., and Hirabayashi, Y.: Simulation of the spatial distribution of snow cover in the Himalayan river basin of Nepal and its comparison with MODIS satellite product, International Symposium on “Benefiting from Earth Observation – Bridging the data gap for adaptation to climate change in the Hindu-Kush Himalayan Region”, Kathmandu, Nepal, 4-6 October, 2010.
- 5) T. Koike, L. Wang, K. Yoshimura, H. Yamamoto: Multi-model applications to the assessment of the climate change impacts on floods, The 7th Meeting of the GEOSS/AWCI International Coordination Group (ICG) Meeting, Tokyo, Japan, 5-6 October 2010.
- 6) Toshio Koike, Design of a dam release support system of the Huong River, HUE, Vietnam, 15-19 August, 2010.
- 7) Toshio Koike, Data Integration and Analysis Systems/Capacity Building for Water Resource Management, GEO Work Plan Symposium, Pretoria, South Africa, May 5, 2010.
- 8) 小池俊雄、気候変動下の河川・水資源管理を支える水文学、第 55 回水工学講演会、東京大学生産技術研究所、東京、2011 年 3 月 9 日
- 9) 小池俊雄、気候変動と水資源の将来、日仏水フォーラム 2010 - 地球の水危機への日仏協力 - 、日仏会館ホール、東京、2010 年 6 月 3 日