

平成 21 年 6 月 5 日現在

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2006～2008

課題番号：18206053

研究課題名（和文） 地球水循環変動の極端事象メカニズムの解明

研究課題名（英文） Study on Extreme Events Associated with the Global Water Cycle Change

研究代表者

小池 俊雄 (KOIKE TOSHIO)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号 30178173

研究成果の概要：

近年頻発する水循環の極端事象の個々の発生，拡大，終息の物理的メカニズムを理解し，地球温暖化による極端事象への影響を定量的に理解し，極端事象に対する防災計画見直しの指針を得ることを目的として，地球規模の統合的で集中的な水循環データおよび長期再解析データ，気候変動予測モデルによる出力と，データ統合・解析システムを用いて，梅雨前線による我が国の豪雨の発生，拡大，終息の物理的メカニズムの理解，気候変動による豪雨発生の影響評価，気候変動下での極端事象（豪雨，渇水）に対する河川・水資源分野での適応策の指針を得るための情報提供に関する研究を実施した。

これらの極端事象を従来どおり定常確率過程の中の特異現象として捉えるべきか，あるいは環境変動の移行期に現れる動的な現象として捉えるべきかについて，地球規模の統合的で集中的な水循環データおよび長期再解析データ，気候変動予測モデルによる出力と，データ統合・解析システムを用いて，統合・解析手法のプロトタイプが構築された。

交付額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-------------|-------------|-------------|
| 2006年度 | 17,800,000円 | 5,340,000円 | 23,140,000円 |
| 2007年度 | 13,000,000円 | 3,900,000円 | 16,900,000円 |
| 2008年度 | 7,700,000円 | 2,310,000円 | 10,010,000円 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 38,500,000円 | 11,550,000円 | 50,050,000円 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工水理学

キーワード：豪雨，洪水，渇水，気候変動，ダウンスケーリング

1. 研究開始当初の背景

これまでの水循環の極端事象の研究の主眼は，ある地域での長期観測データを用いた発生頻度やインパクトの大きさの変化の解析か，個々の事象を気象，海象，水文事象とのアノマリー（異常性との関連で定性的に捉

えるものがほとんどであった。しかし局所規模の極端事象も，地域規模～全地球規模の事象と密接に関連することが近年指摘されており，その間の物理的メカニズムが定量的に解明されない限り，有効な予測手段が講じられず，これらの極端事象がもたらす災害被害を

軽減できないとされている。

また防災計画においては、これらの極端事象を従来どおり定常確率過程の中の特異現象として捉えるべきか、すなわち確率年の導入による計画規模の決定を踏襲するか、あるいは環境変動の移行期に現れる動的な現象として捉え、確率年にかわる新たな計画論を構築していくべきかについては、地球温暖化が治水、利水上の問題として取り扱われるようになった1990年代当初からの懸案事項でありながら、研究、行政双方とも有効な方向性を打ち出せないでいる。

本研究はこれらの問題に対して、長期的データと、気候変動予測モデル出力、および世界で始めて実施されている統合的・集中的な観測データを、世界最先端のデータ統合・解析システムを用いて、初めて正面から取り組む研究提案である

2. 研究の目的

地球規模の統合的で集中的な水循環データおよび長期再解析データ、気候変動予測モデルによる出力と、データ統合・解析システムを用いて、近年頻発する水循環の極端事象の個々の発生、拡大、終息の物理的メカニズムと、これらの極端事象の間に存在する共通性と特異性を見出し、地球温暖化による影響を定量的に理解し、極端事象に対する防災計画見直しの指針を得る。すなわち、これらの極端事象を従来どおり定常確率過程の中の特異現象として捉えるべきか、あるいは環境変動の移行期に現れる動的な現象として捉えるべきかの知見を得る。さらにこれによって得られる知見と気候変動予測モデルの複数の出力を用いて、気候変動による極端事象の変動特性を明らかにし、それが河川・水資源管理に与える影響を評価する。

3. 研究の方法

本研究では、大容量の数値気象予測モデル出力、再解析出力、複数の気候変動予測モデル出力、地上観測データ、河川管理データを使用して、統合的な解析を実施する。そのためには、超大容量のデータを統合、解析するとともに、社会経済情報などとの融合をおこない、地球規模の環境問題や大規模自然災害等の脅威に対する適応策の策定や危機管理に資する情報に変換しなければならない。

本研究では、超大容量の磁気ディスクストレージシステムと相互利用性機能を有するデータ基盤である「データ統合・解析システム (DIAS: Data Integration & Analysis System)」を用いた。

DIASは第3期科学技術基本計画の5つの国家基幹技術の一つである「海洋地球観測探査システム」の基幹要素として、地球規模観測や各地域での観測で得られたデータを収

集、永続的な蓄積、統合、解析するとともに、社会経済情報などとの融合をおこない、地球規模の環境問題や大規模自然災害等の脅威に対する、危機管理に有益な情報へと変換して、国内外に提供することにより、日本国の総合的な安全保障や国民の安全・安心の実現に資することを目的としている (DIAS, 2009)。

本研究で下記データを利用した。

- (1) アメダスデータ
- (2) 統合地球水循環強化観測期間 (CEOP) プロジェクトデータ
- (3) 長期再解析データ
- (4) CMIP3 データセット

4. 研究成果

(1) 梅雨前線豪雨と広域場の関係の理解

1) 目的と方法論

気象庁ホームページで公開されている「災害をもたらした気象事例 (昭和20年~63年, 平成元年~17年) の、1979~2004年の6~8月に起きた豪雨事例の中から、日本列島での降水が台風・熱帯低気圧の影響を受けていないと考えられる事例を解析対象とした。長期にわたる場合は、各事例の「概要」、「日々の概況」、「期間内での観測値」の「アメダスでの観測値 値の大きい方から10地点 (日最大降水量・最大1時間降水量) を参考にし、35事例を抽出して、トラジェクトリー解析と偏差解析をおこなった。

2) 解析結果

35事例の広域場の状態を観察すると、いくつかの特徴的な地域・状態の存在が見えてくる。その中から、豪雨の要因と考えられる下記の6項目の特徴を選択し、解析した。

- a) 太平洋高気圧の強化
- b) オホーツク海の気圧変動
- c) 低圧偏差の存在
- d) MA-3の強化
- e) 湿舌の水蒸気量の増加
- f) 少雨年との比較

3) 結論

様々な風場が相互に作用しながら、複雑なモンスーン循環を形成しており、梅雨期の日本周辺も例外ではない。どのような風場のときに、豪雨が発生するのか、また、そのときに水蒸気はどこから運ばれてくるのかを解析するために、後方トラジェクトリー解析をおこなった。

トラジェクトリー解析の結果、大気下層では南西風、上層では偏西風ジェットによる水蒸気輸送が多いことが確認された。続いて、ジオポテンシャル高度、水平風、比湿、気温に着目し、豪雨が発生したときの5日平均場の、6~8月の平均場からの偏差を求めた。ト

ラジェクトリー解析の結果と照らし合わせながら考察をおこない、「顕著な太平洋高気圧もしくはオホーツク海高気圧が、隣接する低圧場と収束域を形成し、豪雨をもたらす。多くの事例で、太平洋高気圧の西方への遷移が観察でき、それによって強化された南西風が、収束域に水蒸気をもたらす。」という知見を獲得した。

(2)気候変動の夏季豪雨への影響

1)背景と目的

本研究では、特に日本周辺域の夏季豪雨を対象とし、多数の全球大気海洋結合モデル(AOGCM)のシミュレーションにより再現された降水出力を直接用いるのではなく、比較的不確定性の低い気象要素を指標として、豪雨日を判別し、豪雨日数の変化をもって夏季豪雨の変動特性を明らかにする統計的な手法の開発とその適用結果を報告する。

2)解析対象と解析手法

UTC 日降水量 100mm 以上を豪雨事例と定義し、降水量の観測データ(アメダスデータ)を用い、1979~2004年について、豪雨事例と非豪雨事例を分類した。次に、再解析データ(JRA-25 データセット)の7つの気象要素(海面更正気圧、850hpa・500hpa の比湿、気温、発散)から、2つの気象要素の組み合わせ(21組)について、豪雨事例と非豪雨事例を判別する判別関数を導出した。得られた21個の判別関数のうち、最適なものを選択し、15個のAOGCMシミュレーションの出力結果(CMIP3 データセット)に適用し、1979~2000年、2046~2065年、2081~2100年の豪雨日数の割合を求めた。AOGCMごとに3期間の比較をおこない、豪雨頻度の増減を調べた。

対象は、日本全国に置かれた、6つの管区気象台(札幌、仙台、東京、大阪、福岡、沖縄)の内、沖縄を除いた、5つの管区気象台について、それぞれの気象台管内を一つの地域として、解析対象領域に設定した。

現在気候の解析においては、JRA-25 データセットの1979~2004年、CMIP3 データセットの20C3M 実験結果の1979~2000年を、将来気候の解析においては、CMIP3 データセットの各シナリオ実験結果の2046~2065年(本研究では、将来前期と呼ぶ。)、2081~2100年(将来後期)を解析対象期間とした。また、夏季豪雨を対象とするため、5~8月に限定した。

豪雨事例の判別については、フィッシャーの線形判別関数を用いた判別分析(Everitt, 2007)をおこなった。判別分析とは、事前に与えられている観測値が異なる群に分かれることが明らかな場合、新しい観測値データに対して、どちらの群に入るのかを判別する

ための基準(判別関数)を得るための手法である。

3)解析結果

i)判別関数の導出

判別関数の導出においては、JRA-25 データセット(1979~2004年)を使用し、奇数年を判別関数導出のためのトレーニングデータ、偶数年を判別関数の精度確認のためのテストデータとした。変数は、850hpa 面と500hpa 面上の発散(dv)・比湿(hus)・気温(ta)、及び海面更正気圧(psl)の7つの変数から、2変数を選択した。

5つの解析領域に共通して、500hpa 面比湿(hus500)と海面更正気圧(psl)の組み合わせが、Eが良好な値(すべての解析領域で、1番目か2番目に小さい値)を示した。500hpa 比湿が高いこと、すなわち、500hpa 面の大気中層に水蒸気量が多く含まれていることは、可降水量が多いことを含意しており、これにより降水現象が持続するため、豪雨を引き起こすものと考えられる。また、海面更正気圧が低ければ、低圧場が形成され、豪雨の発生要因になる。

また、850hpa 面発散(dv850)と850hpa 面比湿(hus850)も、各解析領域に共通して比較的安定した地位(絶対的な値でなく、他の気象要素の組み合わせとの相互比較)を示した。これは、850hpa 面比湿が高い、すなわち、大気下層の水蒸気量が多ければ、豪雨が発生しやすくなるため、と考えられる。また、850hpa 面発散が負、すなわち、大気下層が収束場であることも、豪雨の発生要因になっていると考えられる。しかし、安定しているといえども、札幌は6番目、仙台は8番目、東京は6番目、大阪は4番目、福岡は4番目にE尺度が小さい値であり、上述の500hpa 面比湿と海面更正気圧の組み合わせと比較すると、その違いは大きかったので、将来気候の解析には採用しなかった。

2変数から3変数に拡張して判別分析をおこなうと、トレーニングデータのE尺度は大きく改善するが、テストデータのE尺度の改善の程度は顕著なものではなかった。すなわち、3変数への拡張は、トレーニングデータで採用した事例(1979~2004年奇数年の非豪雨・豪雨事例)の個別性をより強く反映することとなる。観測データを基礎とするJRA-25 データセットにより導出した判別関数を、気候モデルによるシミュレーションという異なる起源を有するCMIP3 データセットに適用することを考えれば、JRA-25 データセットの個別性の反映をできる限り小さくすることが好ましい。したがって、JRA-25 データセットのテストデータのE尺度の値の改善をもって、変数を増やすことは、いたずらにJRA-25

データセットの個別性の反映を助長することになるため、将来気候の解析には採用しなかった。

以上より、500hpa 面比湿と海面更正気圧の組み合わせにより求められた判別関数を、CMIP3 データセットに適用する際の判別関数とした。

ii) CMIP3 への適用結果

使用した 15 個すべての AOGCM において、各解析期間（現在、将来前期、将来後期）、各シナリオ（SRESA1B, A2, B1）についてシミュレーションがおこなわれているわけではなく、また、出力データが公開されていなかったり、単に欠損したりしている場合も確認された。また、AOGCM によって、その解像度がそれぞれ異なるため、当然のことながら、日本列島上に存在する格子点も異なる。また、同じ解像度であっても、緯度 0 度（赤道上）に格子点を置くか否かで、その格子点の分布が異なる。原則として、各解析領域内の陸地上に存する格子点を使用した。格子点の分布状況によっては、海上に存する格子点、さらに、解析領域の外側に存する格子点を使用した AOGCM 出力データもある。

JRA-25 データセットのトレーニングデータ（1979～2004 年の奇数年）により、500hpa 面比湿（hus500）と海面更正気圧（psl）の値を用いて判別式が設定された。

同様に CMIP3 データセットの 15 個の AOGCM シミュレーション結果を代入し、その判別得点と 2 群平均判別得点と比較し、どちらの群側の値をとるかで、非豪雨/豪雨を判別した。福岡管区気象台管内の SRESA1B シナリオについて、豪雨と判別された割合をグラフにまとめると、図-1 のようになり、将来に向かって豪雨頻度が増えているように見える。さらに、各 AOGCM について調べた 3 期間相互の間の増減を、SRES シナリオごとに取りまとめ、豪雨の頻度が増加する傾向を示した AOGCM の割合を求めた。

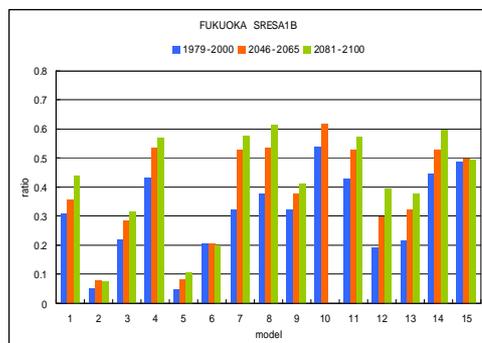


図-1 判別分析により求められた豪雨日数の割合（福岡管区気象台管内、SRESA1B シナリオ）

5つの解析領域の結果を3つの SRES シナリオごとに整理すると、現在から将来で豪雨頻度が増えているように見える。さらに、各 AOGCM について調べた 3 期間相互の間の増減を、SRES シナリオごとに取りまとめ、豪雨の頻度が増加する傾向を示した AOGCM の割合を求めた。

すべての解析領域における全体的な傾向として、「現在気候に比べて、夏季豪雨の発生頻度が増加する可能性が高い」ことがいえる。SRESB1 シナリオの将来前期から将来後期については、結果のばらつきが大きくなり、豪雨発生頻度が増加すると判別した AOGCM の割合は、依然 50%を超えるものの、全体的な傾向と比較すると、顕著に少なくなっている。そのため、「SRESB1 シナリオ下では、将来前期（2046～2065 年）から将来後期（2081～2100）への経過においては、どちらかと言えば夏季豪雨の発生頻度が増える」といえる。

なお、現在気候の再現性が疑われる AOGCM も存在したが、このような AOGCM シミュレーション出力データについての判別分析の結果を除外したとしても、上述の傾向を打ち消すものではなかった。

4) 結論

我が国における、過去から将来（21 世紀）にわたる豪雨頻度の変動傾向を分析した結果、「現在気候に比べて、夏季豪雨の発生頻度が増加する可能性が高い」ことを明らかにした。ただ、環境の保全と経済の発展を地球規模で両立する「持続発展型社会シナリオ」である SRESB1 シナリオについては、結果のばらつきが大きくなり、「SRESB1 シナリオ下では、将来前期（2046～2065 年）から将来後期（2081～2100）への経過においては、どちらかと言えば夏季豪雨の発生頻度が増える」という結論に達した。

(3) 気候変動の洪水・渇水への影響

1) 背景と目的

本研究では第四次評価報告書に用いられた GCM のうち、詳細な気候データを有するモデルをなるべく多く用いて地球温暖化が水資源に及ぼす影響を評価した。

2) 解析対象と方法論

対象とする河川は利根川とした。流域を再現し、流量を計算するために本研究では、分布型流出モデル WEB-DHM を使用した。GCM を使用するにあたり IPCC の第四次評価報告書で用いられた 25 個全ての GCM の結果が使えるわけではない。まず、二酸化炭素排出シナリオ SRESA1b を実施していないモデルが 2 つあり 22 個のうち気象データの作成に必要な 3 hourly data を有しているモデルは 7 つで

あり、そのうち必要な全ての気象データを有しているのが CNRM-CM3, GFDL-CM2.0, MIROC3.2(hires), MIROC3.2(medres), MRI-CGCM2.3.2 の5つであった。

流域シミュレーションに使用した、分布型流出モデル WEB-DHM は現段階では融雪を再現することが難しく、また、対象流域では洪水は夏季に多いということを考慮に入れ流量を算出する期間を、融雪の無い各年の6月～10月とし、各6つのGCMについて20C3Mの1981年～2000年の現在気候と二酸化炭素排出シナリオ SRESA1b の2046年～2065年の将来気候についてシミュレーションした。

3) 解析結果

得られた各20年分の流量から洪水と渇水の評価する。本研究では夏季のみにおシミュレーションにとどまる。年間で評価した場合と、夏季のみで評価した場合とどの程度の差があるのかを前橋における1984年～2003年の20年分の観測された日流量を基に考察する。

本研究では、IPCCのSRESA1bに基づいたGCMの出力結果から、降雨、気温、下方長波放射、日射、風の気象要素を分布型流出モデルに入力し、利根川上流域における地球温暖化の影響を評価した。

図-2は渇水日数の変化率を5つのGCMで比較したグラフである。5個中4個のGCMで9%～83%範囲で減少しており、渇水は減少傾向にあることがわかる。これは明らかに将来減少するという傾向を示しており、第四次評価報告書に用いられた表現方法で表現すると"利根川上流域では、将来渇水の減少する可能性(likelihood)が高い(likely)"と言える。平均では、と渇水日数は18%減少することが分った。

図-3は200年生起の流量の変化率を5つのGCMで比較したグラフである。GFDL-CM2.0以外のGCMでは洪水の脅威は125%～290%の範囲で増大することが分った。5個中4つのモデルで流量が増加している。平均すると200年生起の確率流量は実に約1.7倍にもなることがわかった。

(4)まとめ

本研究では、梅雨前線による我が国の豪雨の発生、拡大、終息の物理的メカニズムと地球温暖化による影響を定量的に理解するとともに、極端事象に対する河川・水資源分野での適応策の指針を得るための影響評価解析を実施した。

近年頻発する水循環の極端事象の個々の、すなわち、これらの極端事象を従来どおり定常確率過程の中の特異現象として捉えるべきか、あるいは環境変動の移行期に現れる動的な現象として捉えるべきかについては、現

象理解、予測可能性、気候変動予測における不確実性からさらなる検証研究が必要ではあるが、地球規模の統合的で集中的な水循環データおよび長期再解析データ、気候変動予測モデルによる出力と、データ統合・解析システムを用いた、統合・解析手法のプロトタイプが構築された。

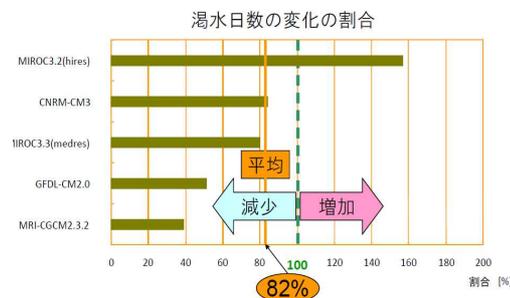


図-2 IPCCのSRESA1bシナリオに基づいて計算された5つの気候変動予測モデル出力を用いた利根川上流域の渇水日数の変化。1981年～2000年に対する2046年～2065年の比

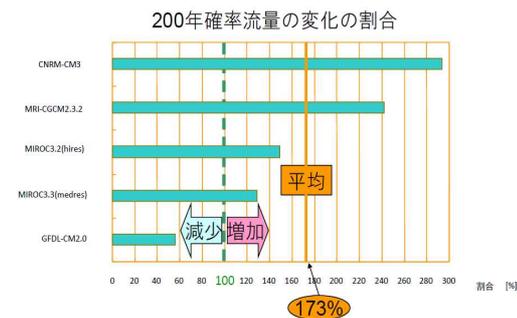


図-3 IPCCのSRESA1bシナリオに基づいて計算された5つの気候変動予測モデル出力を用いた利根川上流域の200年確率洪水ピーク流量の変化。1981年～2000年に対する2046年～2065年の比

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8件) すべて査読有り

- (1) L. Wang, T. Koike, K. Yang, T. J. Jackson, R. Bindlish, and D. Yang (2009), Development of a distributed biosphere hydrological model and its evaluation with the Southern Great Plains Experiments (SGP97 and SGP99), J. Geophys. Res., 114, D08107, doi:10.1029/2008JD010800.
- (2) O. C. Saavedra, T. Koike: Real-time dam operation during typhoon invasion using quantitative precipitation forecast, 水工学論文集第53巻, pp.121-126, March 2009.
- (3) Taniguchi, K., and T. Koike (2008), Seasonal variation of cloud activity and atmospheric profiles over the eastern part of the Tibetan Plateau, J. Geophys. Res. Vol. 113, D10104,

- doi:10.1029/2007JD009321, 2008.
- (4) Mirza, C. R., T. Koike, K. Yang, and T. Graf (2008): The Development of 1-D Ice Cloud Microphysics Data Assimilation System (IMDAS) for Cloud Parameter Retrievals by Integrating Satellite Data, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 46, No.1, 119-129.
 - (5) Tamagawa, K. Kitsuregawa, M. Ikoma, E. Ohta, T. Williams, S. Koike, T.: An Advanced Quality Control System for the CEOP/CAMP In-situ Data Management, IEEE Systems Journal, volume2 Number3, ISJEB2 (ISSN 1932-8184), October 2008.
 - (6) 富田惇・谷口健司・小池俊雄:気象庁長期再解析データを用いた夏季前線性豪雨時の広域的大気構造の研究, 水工学論文集,第 52 巻, pp.319-324, 2008.
 - (7) S. Boussetta, T. Koike, T. Graf, K. Yang, M. Pathmathevan (2007): Development of a coupled land-atmosphere satellite data assimilation system for Improved local atmospheric simulations, Remote Sensing of Environment, DOI 10.1016/j.rse.2007.06.002.
 - (8) D.N. Kuria, T. Koike, H. Lu, H. Tsutsui, T. Graf (2007): Field-Supported Verification and Improvement of a Passive Microwave Surface Emission Model for Rough, Bare, and Wet Soil Surfaces by Incorporating Shadowing Effects, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.45, No.5, 1207-1216.
- 〔学会発表〕(計 11 件)
- (1) T. Koike, D.N. Kuria, M. Rasmy: Satellite-based Atmosphere-land Coupled Data Assimilation System, The 25th PIERS 2009, Beijing, 25 March 2009.
 - (2) T. Koike, D. N Kuria, Mohamed Rasmy: A Satellite-based atmosphere-land coupled data assimilation system, International Conference on Land Surface Radiation and Energy Budget, Beijing, 19 March 2009.
 - (3) C. R. Mirza, T. Koike, K. Yang, T. Graf: The Development of Cloud Microphysics Data Assimilation System (CMDAS) and its Application for Retrieving Cloud Parameter by AMSR-E Satellite Data Integration, GEOSS African Water Cycle Symposium, Tunis, 6 January 2009.
 - (4) S. Boussetta, T. Koike, T. Graf, X. Li, C. R. Mirza, L. Hui, O. Saavedra, M. Rasmy: Downscaling through coupled Atmosphere-Land Data Assimilation System, GEOSS African Water Cycle Symposium, Tunis, 6 January 2009.
 - (5) L. Wang, T. Koike, K. Yang, T. J. Jackson, Rajat Bindlish, Dawen YANG: WEB-DHM: A distributed biosphere hydrological model developed by coupling a simple biosphere scheme with a hillslope hydrological model, The 2008 AGU fall meeting, San Francisco, 17 December 2008.
 - (6) Wang, L., C. T. Nyunt, T. Koike, O. C. SAAVEDRA VALERIANO, T. V. Sap (2008), Applicability of WEB-DHM to Red River, , The 15th Session of the Asia-Pacific Regional Space Agency Forum (APRSAP-15), Hanoi and Ha Long Bay, 10 December 2008.
 - (7) C. R. Mirza, T. Koike, K. Yang and T. Graf: The Development and Application of 1-D Cloud Microphysics Data Assimilation System (CMDAS) for Cloud Parameter Retrievals and Precipitation Prediction by Satellite Data Integration, 2008 NCAS Atmospheric Science Conference, Bristol, 9 December 2008.
 - (8) T. Koike: GEOSS Asian Water Cycle Initiative (AWCI), APHW2008, Beijing, 6 November 2008.
 - (9) O. Saavedra, T. Koike: TOWARDS THE IMPROVEMENT OF WATER RESOURCES MANAGEMENT OF LA PLATA RIVER BASIN, 2008 Brazilian Meteorological Conference, Sao Paulo, 26 August 2008.
 - (10) T. Koike: INTEGRATED WATER CYCLE PREDICTION DEVELOPED BY THE ASIAN WATER CYCLE INITIATIVE OF THE GLOBAL EARTH OBSERVATION SYSTEM OF SYSTEMS (GEOSS/AWCI), International Workshop on Use Satellite Based Information in Flood Risk Management, Jakarta, 21 July 2008.
 - (11) T. Koike: The influence of global hydroclimate on the predictability of changes in water resources, First International Conference: From Deserts to Monsoons, Crete-Greece, 5 June 2008.
- 〔その他〕
- 6 . 研究組織
- (1) 研究代表者
小池 俊雄 (KOIKE TOSHIO)
東京大学大学院工学系研究科教授
研究者番号 : 30178173
- (2) 研究分担者
谷口 健司 (TANIGUCHI KENJI)
東京大学大学院工学系研究科助教 (H20 年 9 月まで)
研究者番号 : 20422321
- (3) 連携研究者 なし