

3. 地球温暖化がわが国河川流域の水文応答 に及ぼす影響

RECENT STUDIES ON IMPACT OF GLOBAL WARMING ON HYDROLOGIC RESPONSE
IN RIVER BASINS IN JAPAN

水理委員会
宝 馨*

Kaoru TAKARA

ABSTRACT; Studies for assessment of the impact of global warming on hydrological response are classified into three categories: [1] assessment by using the existing meteorological and hydrological data, [2] assessment based on some global warming scenarios and hydrologic models, and [3] assessment by macro-scale hydrologic models considering interaction between atmospheric circulation and hydrologic cycle. This paper reviews the studies included in the category [2] and discusses what should be done in the future for hydrologic impact assessment.

KEY WORDS; global warming, hydrological sensitivity, precipitation-runoff analysis, water resources

1. はじめに

地球の気候変動 (climate change) に関する大方の予想は温暖化 (global warming) である。わが国でも、1980年代後半から、特に、IPCC (気候変動に関する政府間パネル) の報告書 (IPCC, 1990) が出された頃から、温暖化の影響、温暖化の抑制などに関する色々な分野・レベルでの議論が熱心になされてきている。

水理委員会水文部会では、1989年、虫明功臣東京大学教授が部会長の時に発足させた2つの研究グループ「陸域-大気系の水循環過程解明」(代表：山梨大学・砂田憲吾) 及び「地球温暖化による水資源システムへの影響評価」(代表：岐阜大学・小尻利治) が、地球環境に関わる共同研究を推進する役割を担うことになった (たとえば、砂田, 1994; 小尻, 1993, 1994)。

温暖化が水文現象や水資源に及ぼす影響に関する1990年頃までの研究動向については、吉野(1990)や竹内(1991a,b)のレビューに要領良く取りまとめられている。流域規模での温暖化の影響を把握するための方法論として次の3つが挙げられる。すなわち、

- [1] 既往の気象・水文資料による温暖化の影響評価： 当該地域における過去の気象・水文資料を調べ、温暖な時期 (寒冷な時期も) を拾い上げ、その間に実際に生じた水文現象によって、将来の温暖化時の水文事象を類推する方法。
- [2] 温暖化シナリオと長期流出モデルによる影響評価： 気候モデルによって与えられる気候変動予測を当該流域に適用し、気温増、降水の増減を組み込んだ温暖化シナリオを設定して、長期の降水流出シミュレーションを行い、実績流況あるいは温暖化しないと仮定した場合の流況との比較を行う方法。
- [3] 大気と陸面の相互作用を考慮したマクロ水文モデルによる影響評価： 広域的な気象・水文のデータを、通常の観測業務や、リモートセンシングによる観測、随時組織される地上観測チームによる観測などによって取得するとともに、気候モデルに接合できるようなマクロ水文モデル (広域水循環モデル) を作成して、大気と陸面及び水文循環の相互作用を考慮して温暖化の影響を分析する方法。

* 京都大学防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

1990年頃においては、わが国では、建設省などが上記[1]について若干の検討を始めていたにすぎなかった（吉野，1990；盛谷・丹羽，1991）が、その後，現在（1995年7月）までの間に[1]，[2]，[3]の方法論を用いた研究成果・研究動向が報告されている。前述2つの研究グループは，それぞれ，上記[3]及び[2]のアプローチをこの数年にわたり実践してきたことになる。本稿では，特に[2]の方法論を用いた研究成果を中心にレビューする。

2. 気候モデルと温暖化シナリオについて

産業革命以後の人間活動の活発化による二酸化炭素（CO₂），メタン，フロン，一酸化二窒素，オゾン等の大気中の微量気体の増加が温室効果という現象を引き起こし，それが地球温暖化の要因であるというのが通説である。CO₂等の大気中の濃度が増えた場合に，地球上の気候がどのように変化するかを解析するために気候モデルによる予測実験が行われている。

この予測実験には，「平衡実験」と「漸増実験」がある。前者は，CO₂濃度が瞬時に倍増（または4倍増）したあと，大気と海洋混合層が新たな平衡状態になったときに気候がどのようになるかを予測するもので，気候モデルとして大気大循環モデルに海洋混合層のモデルを組み合わせた「大気・海洋混合層モデル」を用いる。漸増実験は，CO₂濃度が徐々に増加していく場合の気候変化予測をするものであるが，海洋の深層まで考慮した海洋循環モデルを大気大循環モデルと結合した「大気・海洋結合モデル」を用いる必要がある。両者の解には当然のことながら乖離がある。漸増実験を用いるのが理想であり主流となりつつあるが，膨大な計算機資源を要するという難点がある。漸増実験によりCO₂濃度が倍増した場合に予測される気候変動の特徴は，北大西洋北部や南極周辺の海域を除き，平衡実験でも再現できるため，大気・海洋混合層モデルによる平衡実験も引き続き行われている（気象庁，1994）。

気候モデルによって与えられるCO₂濃度倍増時の温度変化や降水量変化の空間分布（全球マップ）などが多数の研究機関等によって報告されている。流域における降水流出（水文応答）に対する温暖化影響評価を行う場合には，そのような気候モデルからのアウトプットを利用して，温暖化シナリオを設定する。中緯度に位置する日本の場合，全球平均の結果と同程度の昇温が予想されているので，3 deg 程度の温暖化を考えておく必要があろう。設定した温暖化シナリオのもとで水文学的予測実験を行う。水資源（積雪・融雪，土壌水分，地下水）の時間的・空間的分布や河川流況が温暖化の影響をどのように受けるかを降水流出シミュレーションを行って調べるのである。

3. 温暖化シナリオにもとづく河川流域の水文応答変化に関する研究事例

わが国においてなされてきたこの種の水文学的予測実験は，想定する時点（たとえばCO₂濃度倍増時）における気温変化量（ ΔT ）と降水量変化率（ ΔP ）を仮定し，降水流出計算を行い流況の変化を調べるといったものがほとんどである。温度変化が蒸発散及び降雪・融雪に影響を与えることによって，また，降水量がそれと同時に変化することによって流出が変化するというモデル計算である。主として日・月単位の河川流況の変化に着目している。

この種の予測実験にも「平衡実験」と「漸増実験」がある。すなわち， ΔT と ΔP を固定値として長期流出の計算を行うのが「平衡実験」で，気温変化量と降水量変化率を時間的に徐々に変化させてゆき目標時点で ΔT と ΔP となるようにするのが「漸増実験」である。また，気候モデルのアウトプットを見ると，季節によって ΔT と ΔP の値が変化している。このような季節変化を考慮するかしないかというオプションもある。表1に，わが国でなされてきたこの種の研究発表を整理した。

宝らは，1991年～2030年までの漸増実験を行った。CO₂濃度倍増（CO₂×2.0）時を2030年として，その時点まで線形的に気温及び降水量が変化するというものである。2000，2010，2020年をそれぞれCO₂×1.25，1.5，1.75の時点に読み替えることができる。 ΔT と ΔP が年間通じて一様な「年間一様シナリオ」と，CO₂×2.0を仮定したいくつかの気候モデルの平衡実験の結果を示すマップにおいて，日本付近に着目して ΔT と ΔP を読み取りそれを2030年時点の値（季節によって異なる）とした「GCM季節変化シナリオ」を採用

表 1 地球温暖化による流域水文応答の変化を調べた研究

研究者	流域面積 (km ²)	温度変化 ΔT (degree)	降水量変化 ΔP (%)	水文シミュレーションの内容	流出モデル／蒸発散モデル	検討・整理項目
宝ら(1991), 宝(1992), 宝・小尻 (1993)	3 8 7 (野洲川)	0 ~ 5 (年間一様シナリオ及びGCM季節変化シナリオによる漸増実験)	-10 ~ +20 (年間一様シナリオ及びGCM季節変化シナリオによる漸増実験)	日単位降水流出 (18年分の降雨データからモンテカルロ法で40年分の漸増実験を1000系列) ; 積雪融雪なし	4 段タンクモデル／個並列／重回帰モデル	年最大日流量, 2日・3日・30日・50日・豊水・平水・低水・渇水流量及びそれらの基本統計量, 年最大流量の頻度分布, 確率流量, 渇水の生起頻度・規模の定量的評価, 月単位流量
田中丸・ 角屋(1991, 1992ab)	0.147 (輪島 柳田流域) 1 3 2 (永源 寺ダム)	0, 2, 4 ; -1.2 ~ +0.4 (年間一様シナリオ及び季節変化シナリオによる平衡実験)	-10, 0, +10 ; -4 ~ +28 (年間一様シナリオ及び季節変化シナリオによる平衡実験)	8 年間 (輪島), 約15 年間 (永源寺) の実績日単位降水流出の降水を増減; 積雪融雪あり	長短期流出両用タンクモデル／Penman式(輪島), Makkink式(永源寺)	水深換算積雪量, 月流出高, 月蒸発散量, 年間水収支, 年最大流量, 35日流量, 豊水・平水・低水・渇水流量, 必要貯水容量
小尻 (1992)	約 5 0 0 (N川 上流域)	0, 3 (年間一様シナリオによる平衡実験)	-10, 0, +10 (日降水量系列をパターン分類に基づき模擬発生)	日単位降水流出 (100年分の平衡実験) ; 積雪融雪あり	多層メッシュ型モデル／Penman式	月別平均流量, 年最大日流量, 2日・3日・30日・50日・豊水・平水・低水・渇水流量, 渇水の生起頻度・規模の定量的評価
堤ら(1993)	7 2 4 (豊川)	0, 3 (年間一様シナリオによる平衡実験)	-10, 0, +10 (日降水量系列をパターン分類に基づき模擬発生)	日単位降水流出 (数 十年分の平衡実験)	多層メッシュ型モデル／Penman式	各月の日平均流量, 渇水の生起頻度・規模の定量的評価
益倉・吉谷 (1992)	5 1 1 4 (利根川八 斗島地点)	1, 2, 3, 5 (年間一様シナリオ及び気象庁GCMに基づく月変化シナリオによる平衡実験) ほか	-5, 0, +5, +10 (年間一様シナリオ及び気象庁GCMに基づく月変化シナリオによる平衡実験) ほか	5 年間の日単位降水流出 ; 積雪融雪あり	1 kmグリッドを基本とする分布型流出モデル／年可能蒸発量から推定	年最大日流量, 豊水・平水・低水・渇水流量, 最小流量, 平均流量
廣瀬ら(1992) 丹羽ら (1993b)	19 (九州Aダム) 28 (四国Bダム) 740 (東北Cダム)	0, 1, 2, 3 (年間一様シナリオによる平衡実験)	-10, 0, +10 (年間一様シナリオによる平衡実験)	10年間の日単位降水流出及びダム運用計算(残流域も考慮) ; 積雪融雪あり (Cダムのみ)	4 段タンクモデル／Hamon式を応用	ダムの空水日数, 不足%日, 1/10 安全度確保のための必要貯水容量
安藤・合田 (1992), 安藤(1994)	2 6 3 (小河内 ダム)	0, 3, 5 (年間一様シナリオによる平衡実験)	-10, 0, +10 (年間一様シナリオによる平衡実験)	11年間の日単位降水流出 ; 積雪融雪あり	安藤らの長期流出モデル／Hamon式を応用	各年の月流量・年間流量と11年の平均月流量・年間流量
宇治橋 (1994)	2 4 7 (手取川 ダム)	0, 3, 4, 5 (年間一様シナリオ及びGCM季節変化シナリオによる平衡実験)	-10 ~ +20 (年間一様シナリオ及びGCM季節変化シナリオによる平衡実験)	1990年12月から1991年11月の1年間の日単位降水流出 ; 積雪融雪あり	メッシュタンクモデル／Hamon式	積雪深の空間分布, 年最大日流量, 2日・3日・豊水・平水・低水・渇水流量, 363日・364日流量, 年最小流量

している。なお、温暖化抑制政策等のために遅れる場合には2030を2070とか2100に読み替えばよい。

宝らの漸増実験では、過去18年の実績日単位降水量時系列から、モンテカルロ法により40年分の降水量時系列を繰り返して取り出し ΔP に応じて漸増させる。こうして得た40年分の時系列を1000系列発生して、対象年（2000, 2010, 2020, 2030年；言い換えると、それぞれ、 $\text{CO}_2 \times 1.25, 1.5, 1.75, 2.0$ の時点）の日単位流況を4段直列タンクモデルを6個並列した流出モデルにより1000系列求める。1000系列のデータから、日単位流況の基本統計量のみならず、極値流量の分布、確率流量、渇水の生起頻度・規模の定量的評価指標、月単位流量などの諸量を求め、温暖化なしのシナリオ（ $\Delta P=0$ と $\Delta T=0$ の場合）の流況と比較している（宝・小尻, 1993）。ただし、降雪・融雪は考慮されていない（雪の少ない流域のため）。

表1に列挙されたその他の研究はすべて平衡実験に分類できる。すなわち、1つのシナリオに対して ΔP と ΔT どちらも年ごとに変化しないものである。最も単純な平衡実験は、安藤らの方法である。既往の日単位の降水量系列を ΔP の分だけ増減させ、 ΔT は降雪・融雪および蒸発散に影響を及ぼすというもので、「年間一様シナリオ」による集中型長期流出モデルによる平衡実験であって、過去21年分の日単位の降水流出資料から、流出モデルの再現性のよい11年を選び出し、各年について1年間の日単位の流出計算を行って、各月流量および年流量を求め、実績流量と比較している（安藤, 1994）。

田中丸・角屋（1991, 1992b）は、2つの流域で「年間一様シナリオ」に基づく平衡実験を行い、水深換算積雪量や、月流量、月蒸発量、年間水収支、必要貯水池容量を求めている。また、それらの流域近辺の気象観測点（金沢、伏木、彦根、京都）の長期の気象データから、「温暖期及び寒冷期の季節変化シナリオ」を設定して水深換算積雪量、月流量、年間水収支を温暖期及び寒冷期について比較検討した（田中丸・角屋, 1992a）。

宇治橋（1994）は、「年間一様シナリオ」と宝らの「GCM 季節変化シナリオ」の一部を採用し、分布型流出モデルにより豪雪地帯の積雪深の空間分布を調べている点に特徴がある。ただし、実験対象期間が短い。

小尻ら（小尻, 1992；堤ら, 1993）は、日降水量系列の発生に工夫を凝らしている。すなわち、パターン分類手法を用いて、過去何十年かの実績月単位降水量の年パターンを分類し、各パターンの発生確率、パターン内の月降水量の推移確率を求めておき、パターンごとの日降水量系列を乱数発生手法により数十から100年分与える。分布型の多層メッシュ型流出モデルを用いているが、流域末端の流量のみについて整理し、月別平均流量、流況曲線、渇水の生起頻度・規模の定量的評価指標などを対象に、発生させた系列の平均値について検討している。

建設省土木研究所では、益倉・吉谷（1992）が、「年間一様シナリオ」、「気象庁 GCM に基づく季節変化（月ごとに変化）シナリオ」、「降水強度ごとに降水量増加率が異なるシナリオ」、「温暖期及び寒冷期の降水量特性に基づく季節変化シナリオ」など16のシナリオのもとで、1 kmグリッドをベースとした分布型流出モデル（土研モデル）によって利根川八斗島地点の5年間の実績流況と比較した。丹羽・廣瀬ら（1993b）は、九州北部、四国瀬戸内側、東北大平洋側の3つのダム流域で温暖化を想定した降水流出シミュレーションを行い、地域による違いを水資源の立場から検討した。また、利根川、木曾川、淀川、太田川、吉野川、筑後川において、気温上昇量と利水容量増加率の関係を調べている（丹羽ら, 1993a）。

これらの研究で、共通的に得られた知見はおおよそ次のようなものである。

- (1) 3 deg 程度の気温上昇の影響よりも、10%程度の降水量の変動の方が流況に与える影響は大きい。
- (2) 3 deg 程度の気温上昇があっても10%の降水量増加があれば、平均的に見て、低水部流量はあまり減少せず、高水部流量は15%程度増大する。
- (3) 気温上昇により降雪が雨になったり、融雪が早まったりするので、1～3月の流量が増加し、4～6月の流量が減少する。

その他には、建設省土木研究所では、地球温暖化が河川流量に及ぼす影響把握のための疑似降雨モデルの開発を行っている（藤兼・益倉, 1993）。上述のように、降水量の変化が重要であることにより、寺川ら（1994）は、気象研究所の保有する大気大循環モデルによる地球規模の気候変化シミュレーション結果を、日本を含む対象領域の境界条件として取り入れメソスケールで降雨量を予測するモデルを開発している。ま

た、単純化した仮想の水路を対象とした数値シミュレーションによって温暖化の河川水質変化プロセスへの影響を検討している（寺川，1994）。北海道開発局では、石狩川水系豊平川支川の定山溪ダム流域における融雪予測モデルにGCMアウトプットに基づく温暖化シナリオ（ $\Delta T=3\sim 4$ deg）を設定して、融雪流出が15日程度早まりピークが4月上旬中甸になると報告している（中津川・西村，1992）。

4. おわりに——今後の課題など

本稿では、1990年前後からわが国でなされてきた流域の降水流出（水文応答）への温暖化の影響を論じた研究のいくつかをレビューした。これらはいずれも、IPCC（1990，1992）の報告書などに記載された気温変化や降水量変化の予測結果に基づいた温暖化シナリオのもとで降水流出の水文学的シミュレーションを行ったものであって、世の中で今のところ一応広く受け入れられている気候変動の予測に基づいているという意味で一見の価値のあるものではあろう。しかしながら、それらの結果に対して、河川管理者なり一般住民なりが直ちに何らかの対応をすべきものでもない。

今のところ、土木工学の多くの分野の研究者や実務家は、あえて言えば、気候・気象の専門家のアウトプットをある程度信用しながら（半ば疑いながら）、その情報をインプットとせざるを得ない受け身の立場である。したがって、現在利用している水が将来どうなるのか、水に関わる災害が増えるのか減るのか、どのような計画や対策を立てるべきなのか、といった問題について、試算したり議論したりして、世の中の注意を喚起したり警告を発したりするにしても、インプットが大雑把なものであるから、おのずと可能性を見いだす程度のことしかできない現状である。気候・気象の専門家のアウトプットにしてもまだ不確定性は甚だ大きいのであって、全球または地域を対象とした気候モデルは、今後さらに4次元分解能を高めていきつつ、また、種々の新たな知見や予測を組み入れながら、不確定性を徐々に取り除くことになるのであろう。

さて、これからの研究の流れとしては、前述の[3]の方法論を実現していくことが重要である。気候モデルの進歩に対応すべく、水文モデルも進歩させていかねばならない。すなわち、

- (1) 流域内の水の移動・分布を解析できる分布型流域水文モデルの開発
- (2) 全球気候モデルに接続できるような地域気候モデルにさらに接続できるようなマクロ水文モデルの開発
- (3) マクロ水文モデルとそれより小さな流域水文モデルとの関係の明確化（パラメタライゼーション）
- (4) 陸域と大気間の水・エネルギー循環過程の解明（広域蒸発散モデルの開発を含む）

前述の琵琶湖プロジェクト（砂田，1994）などはこれらの実現のための基礎的共同観測・解析研究である。大河川から海への流出（大陸からの淡水補給）は、海洋の熱塩循環に影響を与え、海洋-大気間の相互作用に影響する。結局、陸域と大気の相互作用や陸域での水循環にも影響を与えることになる（沖，1993；沖ら，1993）。特に、アジアモンスーンは、世界の気候に与える影響が大きいということのみならず、わが国の気候・気象にも直接影響を与えるものである。現在、気候変動国際共同研究計画（WCRP）の一つの大きな柱としてGEWEX（Global Energy and Water Cycle Experiment）が立ち上がりつつあり、そのアジア版としてGAME（GEWEX Asian Monsoon Experiment）が計画されている（安成・小池，1993）。アジアモンスーンとその水循環の観測・予測のために、タイ、チベット、中国（淮河）、シベリアを対象域として、国際共同観測計画が具体化し始めている。従来のような受け身の立場でなく、水文分野の研究者が、気候・気象の分野の研究者たちと共同して地球環境問題に取り組みを始めているのである。このような研究の成果が、数年のうちには、この地球環境シンポジウムにおいて発表されることになるものと期待している。

その他、気候変動予測の精度が向上するにつれて、以下のような課題がますます重要になってこよう。

- (5) 温暖化による水需要の変化とその水資源管理への影響評価の手法の検討（清水ら，1993）
- (6) 温暖化による水文応答変化が、当該河川にどの程度の被害と便益をもたらすのかを明らかにする手法の検討（森杉，1993）
- (7) 非定常下（トレンドが存在するもと）での水工計画の合理的立案法の検討（寒川ら，1992）
- (8) 温暖化による沿岸域の推移変動の河川水・地下水への影響評価

参 考 文 献

- IPCC (1990): Climate Change, The IPCC Scientific Assessment. (Eds.) Houghton, J. T., Jenkins, G. J. and Ephraums, J. J., Cambridge University Press, 365 pp.
- IPCC (1992): Climate Change 1992, The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. (Eds.) Houghton, J. T., Callander, B. A. and Varney, S. K., Cambridge University Press, 200 pp.
- 安藤義久 (1994): 地球温暖化シナリオによる河川流出への影響評価に関する一考察, 水利科学, 38巻, 4号, 34-44.
- 安藤義久・合田十三夫 (1992): 地球温暖化による河川流出への影響評価に関する研究, 第4回水資源に関するシンポジウム, 739-744.
- 宇治橋康行 (1994): 地球温暖化による流域水文応答の変化の数値実験, III. 多雪流域, 平成5年度文部省科学研究費補助金(総合研究(A)) 研究成果報告書「地球温暖化のもとでの水資源システムの安全度評価と耐渇水方策に関する総合的研究」(03302046, 代表: 小尻利治岐阜大学教授), 49-54.
- 沖 大幹 (1993): 水文気候学からみた熱帯河川, 科学, 63 (10), 678-682.
- 沖 大幹・虫明功臣・増田耕一・松山 洋 (1993): 大気水収支法による地球規模水循環のモニタリング, 第1回地球環境シンポジウム講演集, 246-253.
- 気象庁 (1994) 編: 近年における世界の異常気象と気候変動～その実態と見通し～(V), 異常気象レポート'94, 第7章, 220-270.
- 小尻利治 (1992): 地球温暖化が及ぼす利水システムの安全度への影響評価に関する研究, 第4回水資源に関するシンポジウム, 11-20.
- 小尻利治 (1993): 土木学会における地球環境研究の動向ー地球温暖化を中心としてー, 水文・水資源学会誌, 第6巻, 第1号, 61-65.
- 小尻利治 (1994) 編著: 地球温暖化のもとでの水資源システムの安全度評価と耐渇水方策に関する総合的研究, 平成5年度文部省科学研究費補助金(総合研究(A)) 研究成果報告書, No. 03302046, 112 pp. (英文版 (1995) あり)
- 清水康生・杉山 裕・蔵重俊夫・横江義之 (1993): 地球温暖化による水需要変化が水資源管理に与える影響についての考察, 第1回地球環境シンポジウム講演集, 246-253.
- 砂田憲吾 (1994): 陸域-大気系の水循環過程に関する共同観測と解析「琵琶湖プロジェクト」, 第2回地球環境シンポジウム講演集, 土木学会, pp. 13-18.
- 寒川典昭・中村 哲・山田広樹 (1992): 長野県における月降水量系列の経年変化と確率水文学, 第4回水資源に関するシンポジウム, 775-780.
- 宝 馨 (1992): 地球温暖化シナリオのもとでの河川流況の解析, 第4回水資源に関するシンポジウム, 745-750.
- 宝 馨・小尻利治 (1993): 地球温暖化による流域水文応答の変化に関する数値実験, 土木学会論文集, 479/II-25, 1-10.
- Takara, K., Kojiri, T., Ikebuchi, S., and Takasao, T. (1991): A simulation study on catchment response change due to global warming, Environmental Hydraulics, Lee & Cheng (eds.), Balkema, 1451-1456.
- 竹内邦良 (1991a): 地球温暖化と水資源, 第6回環境工学連合講演会講演論文集, 日本学術会議, pp. 7-12.
- 竹内邦良 (1991b): 地球温暖化と水文気象, 地球規模環境問題に関するミニワークショップ講演集, 土木学会, 70-74.
- 田中丸治哉・角屋 睦 (1991): 気温上昇が流域水文循環に与える影響, 京都大学防災研年報, 34B-2, 189-207.
- 田中丸治哉・角屋 睦 (1992a): 気温上昇が流域水文循環に与える影響 (2), 京都大学防災研年報, 35B-2, 183-195.
- 田中丸治哉・角屋 睦 (1992b): 気候変化シナリオに基づく温暖化の流域水循環への影響評価, 第4回水資源シンポジウム, 757-762.
- 堤 将彦・小尻利治・池田繁樹 (1993): 地球温暖化による水需給形態の変化, 土木学会第48回年講II, CS77, 68-69.
- 寺川 陽 (1994): 地球温暖化が水文循環に及ぼす影響について, 地下水技術協会平成6年秋季講習会テキスト, 1-20.
- 寺川 陽・渡辺明英・藤兼雅和 (1994): 地球温暖化による日本域での降水量変化の予測手法ーメソスケール水文-気象モデルによるアプローチ, 土木技術資料36-8, 20-25.
- 中津川 誠・西村 豊 (1992): 地球温暖化による融雪流出パターンの変化について, 土木学会第47回年講II, 658-659.
- 丹羽 薫・廣瀬昌由・天野裕史 (1993a): 地球温暖化が水資源に及ぼす影響ー水利用の地域差を考慮ー, 水文・水資源学会1993年研究発表会要旨集, 100-101.
- 丹羽 薫・廣瀬昌由・宮井貴大・天野裕史 (1993b): 地球温暖化が水資源に及ぼす影響に関する考察, 水工学論文集, 土木学会, 第37巻, 201-206.
- 廣瀬昌由・丹羽 薫・宮井貴大 (1992): 地球温暖化が進行した場合に水資源に及ぼす影響に関する考察, 第4回水資源シンポジウム, 763-768.
- 藤兼雅和・益倉克成 (1993): 地球温暖化が河川流量に及ぼす影響把握のための疑似降雨モデルの開発, 水文・水資源学会1993年研究発表会要旨集, 98-99.
- 益倉克成・吉谷純一 (1992): 気候変化に伴う利根川の流量変動の評価, 第4回水資源に関するシンポジウム, 751-756.
- 森杉壽芳 (1993): 地球温暖化対策の経済評価の考え方, 第1回地球環境シンポジウム講演集, 118-125.
- 盛谷明弘・丹羽 薫 (1991): 長期観測資料に基づいた温暖化の水資源への影響評価について, 水工学論文集, 土木学会, 第35巻, 647-652.
- 安成哲三・小池俊雄 (1993): 地球の気候とアジアモンスーンの水循環, 科学, 63 (10), 626-634.
- 吉野文雄 (1990): 地球温暖化による水文循環への影響予測, 土木学会誌別冊増刊, 第75巻, 第5号, 18-21.