

10. 地球温暖化による水資源影響の日本全域規模を想定した評価方法に関する研究

STUDY ON THE EVALUATION METHOD OF WATER RESOURCE IMPACTS CAUSED BY GLOBAL WARMING
ON THE ASSUMPTION OF THE NATIONWIDE SCALE IN JAPAN

野上浩典[※]、町田聡[※]、熊野良子[※]、原沢英夫^{※※}

Hironori NOGAMI[※], Satoshi MACHIDA[※], Ryouko KUMANO[※], Hideo HARASAWA^{※※}

ABSTRACT; With respect to the global scale or local basin scale, there are many case studies of evaluating water resource impacts caused by global warming. However, there is a rare example aimed at the scale covering nationwide in Japan. This paper describes the evaluation method how the global warming affects the water resources, by using the available common data. As a result, changes in the seasonal flow pattern were predicted in the typical basins.

KEYWORDS; Global Warming, Water Resources, Hydrological model

1.はじめに

地球温暖化の水資源への影響は、社会・経済活動に大きなインパクトを及ぼすものと推測されている。そのため、IPCC 等において、国際的な研究プログラムが推進されており、これまでも、降雨パターンの変化や、融雪時期が早まる等の影響から、河川流量パターンが変化するという報告もなされている¹⁾²⁾。しかし、これらのグローバルスケールで行われている研究において、日本は極東に位置する非常に小さな一領域に過ぎず、この中で我が国の水資源影響を予測し、評価することは難しい。一方、国内の特定流域を対象としたミクロスケールの研究も行われており³⁾、高い精度で河川流量を推測することが可能であるが、そのモデル化には、水の流入・流出のほか、流域におけるさまざまな要素を詳細に把握しておく必要があり、日本全国規模の評価を行うためには現実的な方法であるとは言えない。そこで、本研究では、日本全国規模を想定した地球温暖化による水資源の影響を、比較的簡単に入手可能なデータを用いて評価する方法について検討した。

2.解析手法

水資源影響評価に河川流量の実測データは必要不可欠であるが、日本全国、全ての河川流量データを取得することは難しい。そのため、限られた情報の中で、不足した情報を補う評価手法について検討する必要がある。そこで本研究では、流量データが入手可能な複数の代表的流域において長期流出解析モデル(気象データなどから流量を推定するモデル)を構築し、そのモデルを日本全国規模の水資源評価に適用する方法を提案する。

具体的には、図-1のフローに示すように、日本全国を複数のブロック単位で分割し、各ブロックにおける代表流域を選定、各代表流域で長期流出解析モデルを構築し、それらのモデルを、もとの各ブロックの水資源評価に適用するといったプロセスである。例えば、関東地方というブロックがあった場合、その代表流域として多摩川を選定し、多摩川の流量データや流域の気象データ等から長期流出解析モデルを構築した上で、そのモデルを関東ブロック全体の水資源評価に適用することを意味している。なお、長期流出解析モデルとして、現時点においては、IIASA(国際応用システム分析研究所)より提供されている WatBal を利用した。WatBal は、降水・流出の関係と、蒸発散モデルを組み合わせた単純なワントランクモデルである⁴⁾。

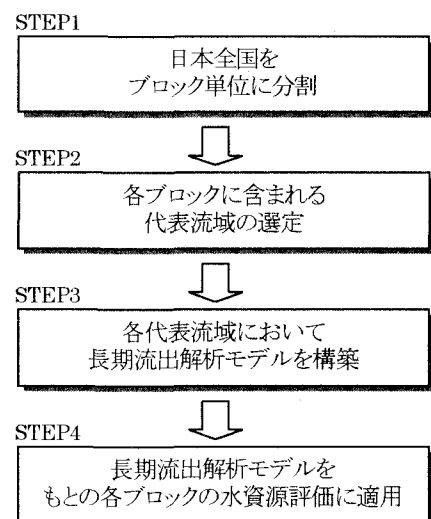


図-1 解析手法

※パシフィックコンサルタンツ(株) Pacific Consultants CO.,LTD.

※※国立環境研究所 National Institute for Environmental Studies

3. シミュレーションの概要

(1) 対象ブロックおよび代表流域の選定

北海道・東北・北陸中部・近畿・中国・四国・九州の8ブロックから、それぞれ、十勝川、雄物川、神通川、多摩川、大和川、江の川、四万十川、筑後川の各流域を、代表流域として選定した(図-2)。ブロック分けについては、より地域特性および気候特性に基づく方法があるものと考えられるが、本稿では、まず地理的に偏りなく選定することを考えて設定した。なお、今回選定した代表流域については、河川年表に1995年から1999年までの流量データが欠測なく揃っていることを前提とした。

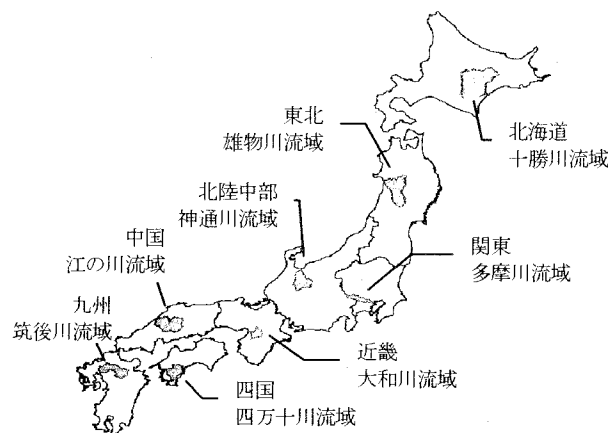


図-2 分割領域および代表流域

(2) データセット整備

『平均気温』、『日平均降水量』、『日平均日照量』(以上、AMeDAS 観測データより)、『日平均河川流量』(河川年表より)、『相対湿度』(2001年版 理科年表より平年値)の5要素について、1995年から1999年までの各月別値を抽出し、データセットとして整備した。

(3) 長期流出解析モデルの作成(キャリブレーション)

整備したデータセットから1995年から1997年までの3カ年分のデータを用いてキャリブレーションを行ない、気温・降水量・日照量・相対湿度の実気象データと流量データとを関連付ける長期流出解析モデルを作成した。キャリブレーションの結果を図-3に示す。関東ブロック(多摩川)の事例では、観測降雨量に対し、観測河川流量が非常に少なかったため、うまくキャリブレーションができず、モデル化を断念した。その他の事例については、モデルによる予測流量と観測流量が概ね一致しており、各流域の特性をよくモデル化できているものと推測される。なお、1998年と1999年のデータセットについては、バリデーション(モデルの検証)用のデータとして利用した。本稿では、紙面の都合上、割愛するが、概ね良好な結果が得られた。

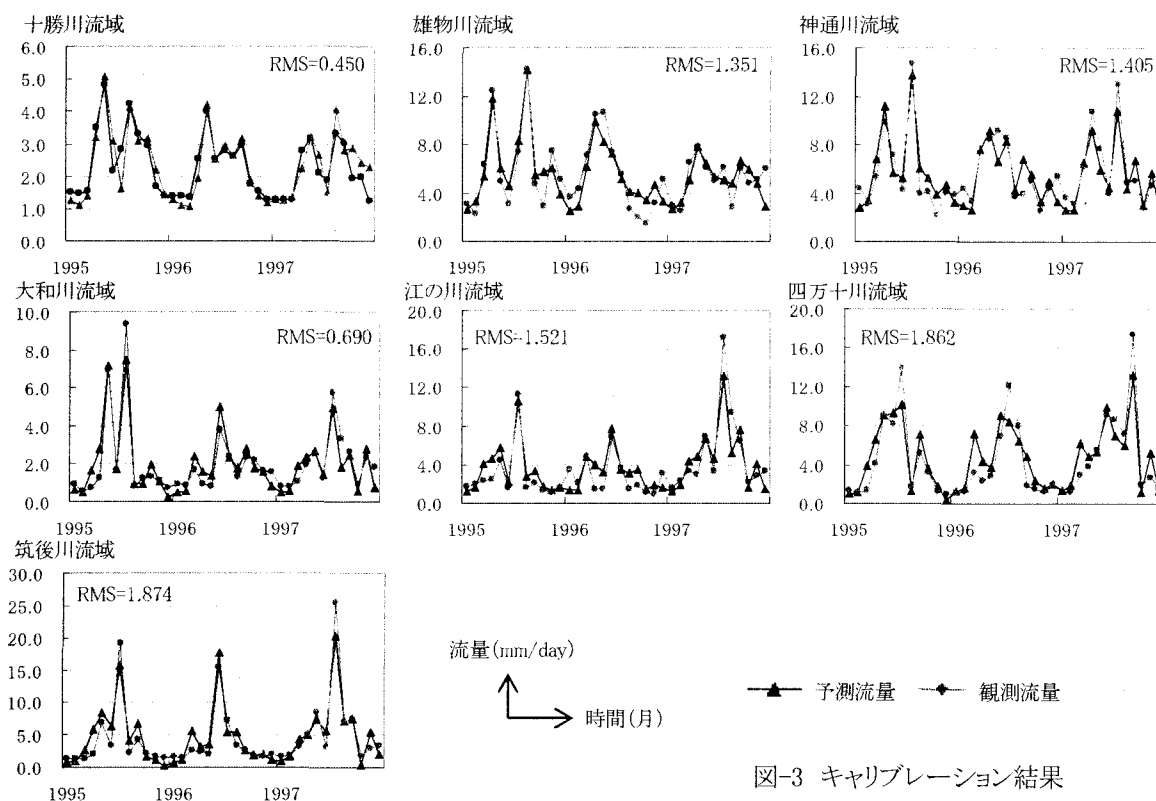
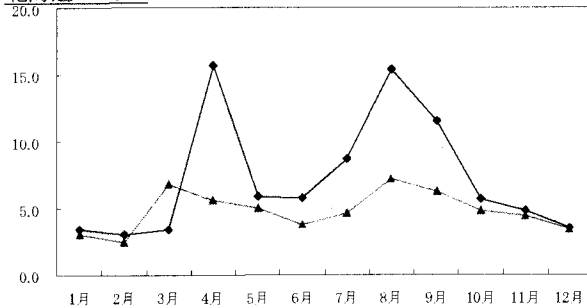


図-3 キャリブレーション結果

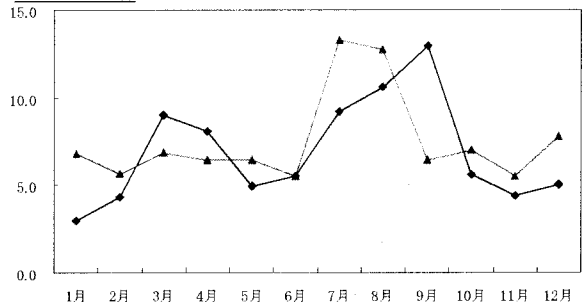
(4)将来流量の推定(シミュレーション)

キャリブレーションにより得られた各代表流域の長期流出解析モデルをもとに、日本全国ブロック別の 2000 年から 2090 年における将来河川流量(すなわち水資源)を推定した。入力データのうち平均気温、日平均降水量について、農業環境技術研究所が作成した気候シナリオデータ(IPCC の提供する GCM を 10km メッシュにダウンスケーリングしたもの)を利用した⁵⁾。本研究では、5種類の気候シナリオデータ(ECHAM4(ドイツ)、HadCM2(イギリス)、CSIRO(オーストラリア)、CCCma(カナダ)、CCSR/NIES(日本))についてシミュレーションを行ったが、ここでは、紙面の都合上、CCSR/NIES シナリオデータを用いた場合の 2000 年と 2070 年の解析結果を示す(図-4)。

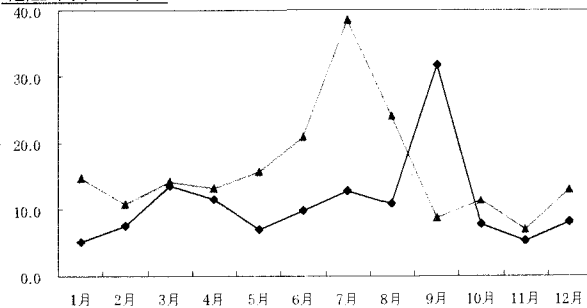
北海道ブロック



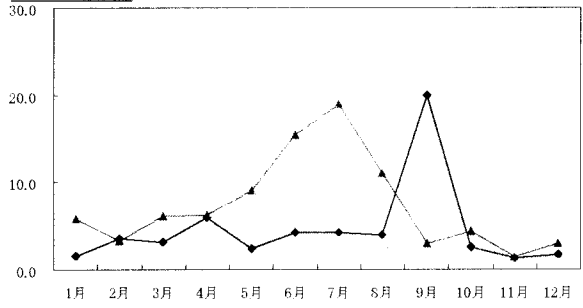
東北ブロック



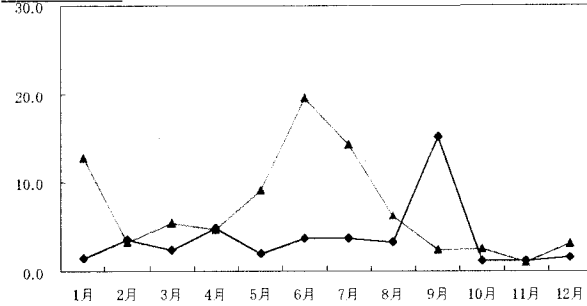
北陸中部ブロック



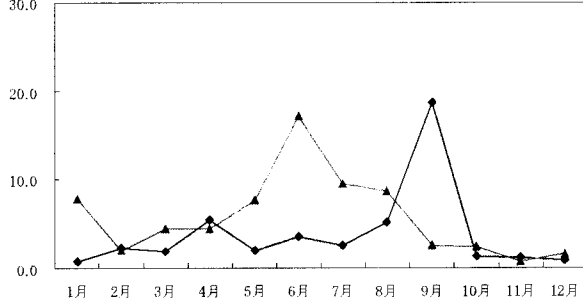
近畿ブロック



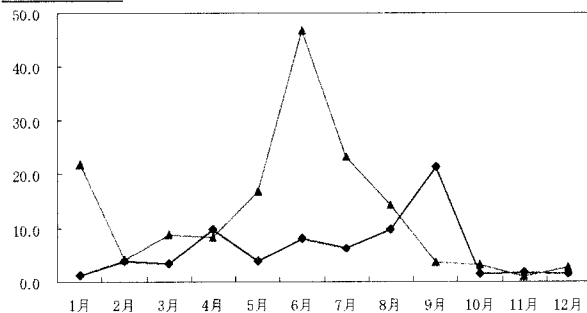
中国ブロック



四国ブロック



九州ブロック



流量($\times 10^3 \text{ m}^3/\text{month}$)

↑
→ 時間(月) ◆ 2000 ▲ 2070

※CO₂が年間1%増加した場合、2070年には2000年の約2倍の濃度となる。

図-4 2000年流量と2070年流量の比較
(CCSR/NIES シナリオ使用)

4. 考察

(1) 気候・流量変化の局所的な分析

温暖化による流量パターンの変化が顕著に現れた事例として、東北地方のシミュレーション結果を選定し、その平均気温、日平均降水量、日平均蒸発散量および予測流量の動向について以下に考察した。図-5に2000年と2070年における各要素のパターンを示す。

① 気温の変化

年間平均気温で、 10.5°C から 13.7°C に約 3.2°C 上昇している。特徴的なのは、夏季に比べ、冬季における気温の上昇幅が大きいことにある。10月から3月までの半年間の平均気温の差を計算すると、 2.9°C から 7.0°C と約 4.1°C の上昇であることが分かった。特に、1月および2月においては、 0°C を挟んで推移しており、降雪頻度の減少、積雪量の低下、融雪の早期化などの変化を示唆するものである。

② 降水量の変化

年間の降水量が 1863mm から 2083mm と約12%増加していることが示された。中でも特徴的なのは、夏季から秋季にかけて雨の多い時期のピークがより早い時期にシフトしている点である。その変化幅としては、7月に54%の増加(日平均 $+4.5\text{mm/day}$)が示されたのに対し、9月には64%の減少(日平均 -8.0mm/day)が示された。

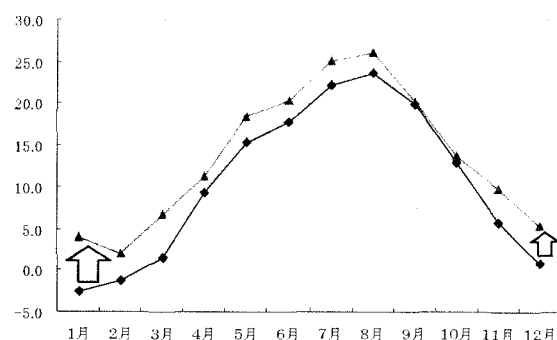
③ 蒸発散量の変化

年間の蒸発散量は、 611mm から 692mm と約13%の増加しており、降水量の増加割合と概ね一致している。ただし、その変化のパターンには、降水量の変化のようなピーク位置のシフトは確認されなかった。最大の変化が現れたのは冬季における増加で、蒸発散量のピークを示す夏季の最大値も増加していることが確認された。気温の上昇と一致しているものと推測される。

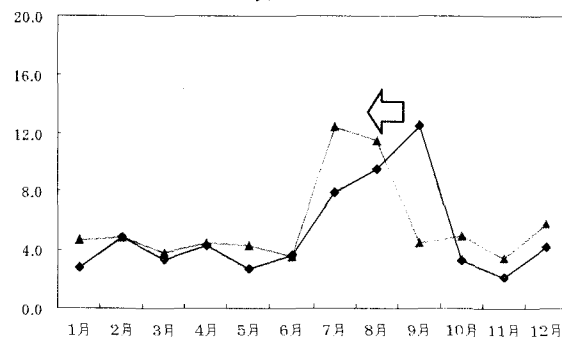
④ 予測流量の変化

年間の総流量は $84.3 \times 10^3 \text{ m}^3$ から $93.1 \times 10^3 \text{ m}^3$ と約10%の増加傾向にあるが、各月別に内訳を分析すると-50%(9月)から+132%(1月)までかなりの変動が確認された。なお、最大のギャップ(9月)は $-6.6 \times 10^3 \text{ m}^3$ で、この数値は、計算上、現在建設中で日本最大の貯水量となる徳山ダム10基分に相当する。変化のパターンとしては、特に、前述した雪に関連する状況変化に起因する『冬季における流量の増加』および『春季における流量の減少』が顕著に現われている。また、降雨パターンの変化により夏季から秋季にかけて流量のピークがシフトしていることも分かる。

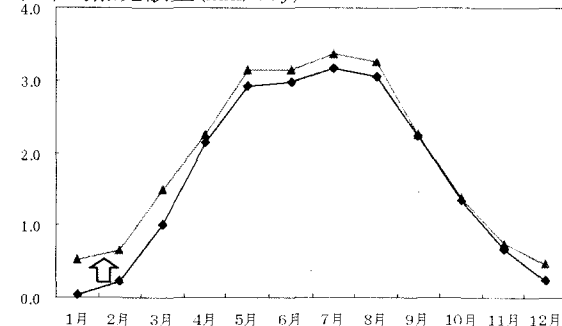
■ 平均気温($^{\circ}\text{C}$)



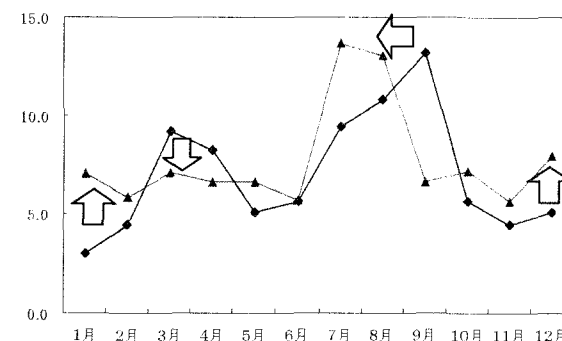
■ 日平均降水量(mm/day)



■ 日平均蒸発散量(mm/day)



■ 流量($\times 10^3 \text{ m}^3/\text{month}$)



◆ 2000 ▲ 2070

図-5 温暖化による流量変化の事例
(東北地方、CCSR/NIESシナリオ使用)

(2) 気候・流量変化の地域間比較

地域的な温暖化影響の状況を分析するため、各ブロックにおける、気温、降水量、蒸発散量、予測流量の 2000 年値に対する 2070 年値の変化量(それぞれ通年平均、夏季平均、冬季平均)を表-1 に示し、以下に考察する。

① 気温の変化

各ブロックとも通年平均で 3℃前後上昇する傾向にあり、夏季よりも冬季の上昇幅が大きい、特に地域的に北に位置するほど特徴は顕著に現われる。例えば、北海道ブロックにおいては、夏季平均+2.2℃、冬季平均+4.9℃の上昇(較差は 2.7℃)であったのに対し、九州ブロックにおいては、夏季平均+2.3℃、冬季平均+3.1℃の上昇(較差 0.8℃)に留まった。

② 降水量の変化

地域的に南に位置するほど増加する率が高く、九州ブロックにおいては、通年で+88%、冬季だけに至っては、3 倍近い+179%を示している(ただし、冬季はもとの絶対量が少なかったことが影響している)。一方、北海道ブロックにおいては、夏季の降水量が-34%と減少に転じており、通年でも-22%を示している。

③ 蒸発散量の変化

気温の上昇、降水量の増加に伴い、軒並み増加する傾向にある。特に、北に位置する地域の冬季においての上昇率が高いのは(北海道ブロック+96%、東北ブロック+48%)、冬季の気温の上昇の大きさに一致するとともに、冬季の水資源が雪として蓄積される比率が高いため、もとの蒸発散量が少なかったことに起因していると考えられる。

④ 予測流量の変化

降水量の増加にともない、増加する傾向にある(北海道ブロックは降水量が減少しているのに、予測流量も減少を示した)。北陸・中部ブロック以南では、通年、夏季、冬季いずれにおいても 50%以上の増加を示しているところも少なくない。特に、南に位置しているほど、流量の増加率は高いということは、降水量の増加率と符合しているものであるが、最も予測増加率の高い九州ブロックにおいては、夏季はほぼ2倍の+93%、冬季は3倍強の+216%、通年でも2倍強の+116%を記録した。

表-1 各地方における検討結果(2000 年と 2070 年データの比較)

■北海道ブロック

	通年平均	夏季平均	冬季平均
気温	+3.6℃	+2.2℃	+4.9℃
降水	-22%	-34%	+7%
蒸発散量	+5%	-3%	+96%
予測流量	-34%	-49%	+5%

■中国ブロック

	通年平均	夏季平均	冬季平均
気温	+2.8℃	+2.1℃	+3.5℃
降水	+68%	+50%	+121%
蒸発散量	+17%	+16%	+20%
予測流量	+93%	+73%	+150%

■東北ブロック

	通年平均	夏季平均	冬季平均
気温	+3.2℃	+2.2℃	+4.1℃
降水	+12%	+1%	+33%
蒸発散量	+13%	+6%	+48%
予測流量	+10%	±0%	+28%

■四国ブロック

	通年平均	夏季平均	冬季平均
気温	+2.7℃	+2.2℃	+3.3℃
降水	+45%	+29%	+122%
蒸発散量	+17%	+17%	+19%
予測流量	+51%	+34%	+130%

■北陸・中部ブロック

	通年平均	夏季平均	冬季平均
気温	+3.0℃	+2.2℃	+3.8℃
降水	+40%	+35%	+52%
蒸発散量	+17%	+12%	+31%
予測流量	+47%	+45%	+50%

■九州ブロック

	通年平均	夏季平均	冬季平均
気温	+2.7℃	+2.3℃	+3.1℃
降水	+88%	+68%	+179%
蒸発散量	+18%	+18%	+21%
予測流量	+116%	+93%	+216%

■近畿ブロック

	通年平均	夏季平均	冬季平均
気温	+2.9℃	+2.1℃	+3.6℃
降水	+44%	+38%	+63%
蒸発散量	+10%	+9%	+12%
予測流量	+62%	+57%	+76%

※ただし、夏季は4月から9月まで、冬季は10月から3月までとして計算した。

5.まとめ

本稿は、日本全国規模での水資源を評価するためのモデルを提案し、同手法に対して IPCC の気候シナリオデータを入力、将来における水資源への影響シミュレーションを試みたものである。以下に、本研究における成果と明らかになった問題点、さらに今後の展開を示す。

(1)研究の成果

本研究の成果は、国民生活に密接に関わる事項であるにも関わらず、これまであまり取り組まれてこなかった『日本全域規模を想定した地球温暖化による水資源影響』に着目し、まずは最終的な答え(将来の水資源はどうなるのか)を導きだした点にあると考えている。その結果、取り上げた代表的な領域で季節的な流量パターンの変化が顕著に現れ、温暖化の水資源への影響を示すことができた。

- ①冬季の流量が増加する反面、春季の流量が減少する。
- ②秋季から夏季へ流量のピークがシフトする。
- ③南に位置している地域ほど、流量の増加率は高い。

(2)問題点

簡易な長期流出モデルで水資源影響を分析しようとする場合、ある程度、人為的な影響のない、いわゆる『自然な状態』を想定している。しかし、実際にはダムなどの貯水施設が河川流量を調整している場合や、流域に大都市を抱える地域においては、大量の河川水が工業用水・農業用水・生活用水として取水される場合など、降雨量と河川流量の関係を複雑にする要素が多く含まれており、本稿における『多摩川の事例』のように、モデルの適用に限界があることが分かった。

(3)今後の展開

本稿では、評価範囲を8つの地方を各ブロックとして単純に分割したが、気候条件や地理的な特徴などの観点で、必ずしも適当な分け方ではなかった。さらに、各ブロックで選定した代表流域が、元のブロック領域の特徴を代表しているともいえない。また、前述したとおり、人為的な影響を吸収する仕組みも必要である。こういった点を踏まえ、今後、限られた情報を日本全域規模に展開するための詳細部分について再検討したいと考えている。また、本稿でシミュレーションに用いた気候シナリオデータは、もともとグローバルレベルの温暖化影響研究を目的に設計されているものであり、日本全国規模で検討する上で精度面で不足していることは否めないところである。この点については、近く公開されることが予定されている地域スケールの気候モデル⁶⁾の結果を、本研究に取り込んでいきたいと考えている。

謝 辞

本研究では、農業環境技術研究所の作成した気候シナリオデータを活用させて頂きました。ここに記して厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1)IPCC(2001) Climate Change 2001: Hydrology and Water Resources, pp.193-232
- 2)NAST(2001) Climate Change Impacts on the United States: Potential Consequences of Climate Variability and Change for the Water Resources of the United States, pp.405-435
- 3)環境省地球温暖化問題検討委員会 温暖化影響評価ワーキンググループ(2001) 地球温暖化の日本への影響 2001: 水文水資源と水環境への影響, pp.195-240
- 4)Yates,D.(1994) WatBal - An Integrated Water Balance Model for Climate Impact Assessment of River Basin Runoff, IIASA WP-94-64, 30p.
- 5)環境省(2002) 地球温暖化による生物圏の脆弱性の評価に関する研究, 地球環境研究総合推進費終了研究報告書, 155p.
- 6)国土交通省(2002) 地球温暖化に関する基礎調査－気候シナリオの検討－報告書, 78p.