

気候変動による降水特性変化がもたらす 水需給バランスへの影響検討

多田 智和^{1*}・土屋 修一²

¹内閣府経済社会総合研究所（前・国土技術政策総合研究所）（〒100-8970 東京都千代田区霞ヶ関3-1-1）

²国土技術政策総合研究所（〒305-0804 茨城県つくば市旭1）

* E-mail: tomokazu.tada@cao.go.jp

将来の気候変動，社会変動により，農業用水や都市用水に係わる水需給バランスの変化が予想される。本研究は，全国の水需給バランスへの影響について，水共同域単位での検討を行った。

水共同域を1つのタンクと想定し，気象庁気象研究所が開発した地域気候モデル（RCM20）の計算結果から求めた水供給量と人口変化に基づいて推定した水需要量から将来の水需給バランスを計算した。渇水リスクについて，ダムの利水容量が不足する日数（マイナス日数），不足容量が最大となる量（最大マイナス値），不足容量の総和（マイナス日数×マイナス値）の指標により検討を行った。将来の渇水リスクの各指標について，水需要量を現在に固定した場合の100年後（2081～2100年）と現在（1981～2000年）の変化比を求めた。3つの指標のいずれかが危険側となる水共同域は全体で約4割を占め，これらの地域は，渇水日数の長期化，渇水の深刻化の可能性が示された。また，100年後について将来の水需要量を用いて変化比を求めた場合，将来の渇水リスクがいずれかの指標で危険側となる地域は2割に減少した。

人口が減少することを見込んで将来の渇水リスクが高まる可能性が示され，今後は水運用の実態に則した評価モデルによる詳細な渇水リスク評価の重要性が認識された。

Key Words : *Climate change, Social change, Climate model*

1. はじめに

IPCCの第4次評価報告書によると，地球温暖化は今後も進行し，その影響は避けることはできず，適応策の必要性が報告されている。また，水資源に与える影響として渇水による被害が増大する可能性が指摘されている¹⁾。渇水に対する適応策を実際に検討して行く上では，詳細な水運用を考慮できる評価モデルが必要となるが，その前段階として全国の流域を対象に渇水に対しての脆弱性を評価し，適応策を施す必要性の高い地域を抽出する事が不可欠である。そのためには，詳細なモデルである必要はなく，全国を同一の指標で評価するためにも，どのような流域においても構築可能な評価モデルが必要となる。

本研究では，将来の水利用のあり方，水資源政策を検討するために，現在の水需給バランスと社会条件との関係を，水需給の収支が閉じている水共同域レベルで整理し，水共同域を一つのタンクと見なし，水供給量，水需

給量の収支から水需給バランスを求める方法により全国の88水共同域の渇水リスクを評価した。

2. 研究方法

本研究では，まず，モデル水共同域を対象に水需給バランス評価モデルを構築し，その妥当性を評価した。そして，その方法を全国水共同域に適用し全国の渇水リスクを評価した。

水需給バランス評価モデルの概念図について，図-1に示す。水共同域を一つのタンクと想定し，水需給バランスを評価した。タンクの総容量として，水共同域内のダムの利水容量と，流域の保水能力による貯留分を見込むこととした。流域の保水能力は，表層土に対して，5～10%程度とされていることから，ここでは平均値の7.5%とし，表層土は2mとして，保水能力は150mm（2m×7.5%）相当とした。タンクへの水供給量は「降雨量－蒸発量＋融雪量」と定義する。タンクからは需要量及び

表-1 水需要量算定にあたり収集したデータ

| 被説明変数 | 収集項目 | 収集年度 | 出典 | 集計方法 |
|-------|---------|-------------------|------------|-------------------|
| 上水 | 人口 | 1980, 1985, 1990, | 国勢調査 | 関係都県データから圏域から外 |
| | 上水道普及人口 | 1995, 2000 | 都県統計年鑑 | れる市区町村データを差し引く |
| 農水 | 水田面積 | 1976, 1987, 1991, | 1/10 細分区画土 | GIS により圏域内メッシュを集計 |
| | | 1997 | 地利用 | |
| 工水 | 産業出荷額 | 1980, 1985, 1990, | 工業統計 | 関係都県データから圏域から外 |
| | (中分類別) | 1995, 2000 | | |

維持流量が排出される。維持流量は、水共同域に含まれる一級河川の至近10年の渇水比流量の平均値から算定した。また、タンクの総容量を上回る水供給があった場合は、タンク外に流出し、無効水量とした。

渇水リスク評価指標について図-2にイメージを示す。評価指標は、ダムの利水容量が不足する日数（マイナス日数）、不足容量が最大となる量（最大マイナス値）、不足容量の総和（マイナス日数×マイナス値）の指標を算出する。「マイナス日数×マイナス値」が、ある期間の全体的な渇水リスクの評価ができるのに対し、「マイナス日数」、「最大マイナス値」は、渇水期間や、渇水強度の評価が可能となる。

渇水リスクは、将来においても現在と水需要量が変わらない場合、（すなわち将来の気候が現在に出現した場合）と推計した将来の水需要量に変化させた場合の2ケースについて評価した。

3. モデル流域における現在の水需給バランス

利根荒川水共同域をモデル流域として渇水リスク評価を行う。モデル流域とした利根荒川水共同域を図-3に示す。

(1) 現在の水需要量の算定

利根荒川水共同域の水需要量の算定にあたり、上水、農水、工水のそれぞれの説明変数として、表-1に示す収集項目を選定しデータを収集、整理した。尚、対象期間はRCM20の現在気候に相当する1981~2000年の20カ年を対象とし、収集年度以外の年は線形補間を行った。水需要量は上記の説明変数に原単位を乗ずることにより求める。原単位について、上水道使用原単位、工水補給水量原単位とその経年変化は、平成14年度都市用水水使用量分析調査（野村総合研究所）から設定した。水田面積に対する原単位である減水深について、農水の年総取水量と農業取水量の日変動パターンを算定し、還元水量率を50%と設定して減水深を算出した。いずれの水需要量について、すべて日単位で求めた。

1981~2000年における利根荒川水共同域の水需要量の算定結果について日単位の経年変化を図-4に、年単位の経年変化を図-5に示す。水需要量は、水田面積の減少や1990年代からの産業出荷額の減少等にもない、微減であるが、20年の間で大きな変化は見られない。

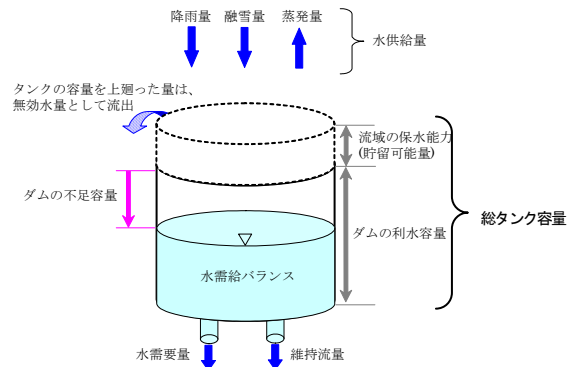


図-1 水需給バランス評価モデルの概念図

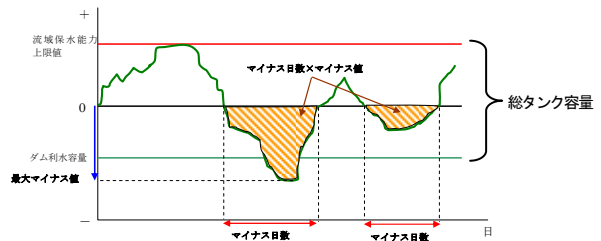


図-2 渇水リスク評価指標のイメージ

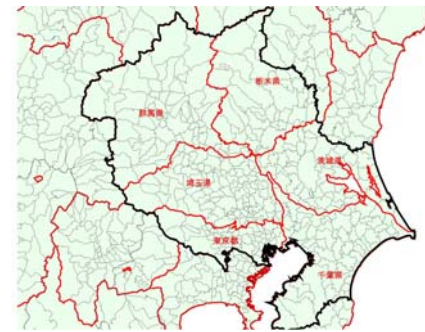


図-3 利根荒川水共同域

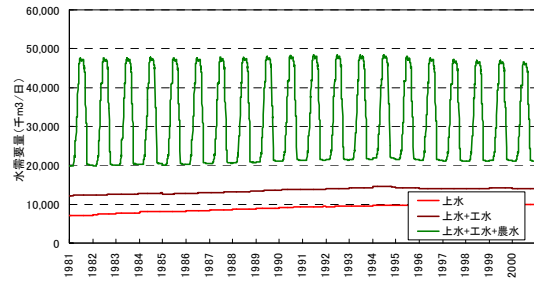


図-4 水需要量の算定結果(日単位)

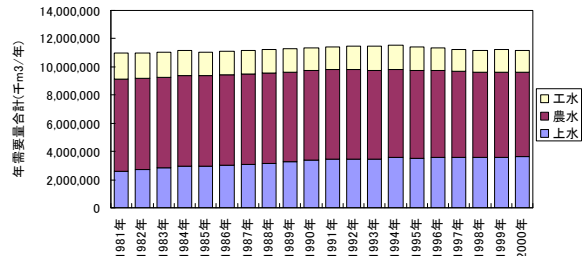


図-5 水需要量の算定結果(年単位)

(2) 現在の水供給量の算定

現在の水供給量の算定は、気象庁気象研究所が開発した領域気候モデル（RCM20）による現在気候のシミュレーション結果を用いた。RCM20のシミュレーション結果の詳細は気象庁²⁾を参照されたい。

RCM20のシミュレーションには、水供給量の相当する「流出量（日単位）」が計算結果の一部として出力されている。この流出量は、融雪の遅れも反映されているが、地域によって「年間流出量」が「年間降水量」より大きく算定されていた。そのため、RCM20の水供給量は、各年の「年間降水量一年間蒸発量」と「年間流出量」との比率を算定し、この流出量（日単位）に乗ずることより補正した。

上記の方法より、利根荒川水共同域での水供給量は20年平均で2194mm/yearであった。ここで、利根荒川水共同域のアメダスデータから年降水量を求めると、1433mm/year（20年平均）であり、RCM20から算定した水供給量は実測に対して過大であることがわかる。このことよりRCM20から求めた水供給量を補正する必要がある。

(3) 水供給量の補正

RCM20の水供給量（（年間降水量一年間蒸発量）/年間流出量×日流出量）について、水共同域内のアメダスデータを用いて補正を行う。

RCM20の年間降水量は、アメダスとRCM20の年降水量（2320mm/year（20年平均））との比率を乗じることとした。蒸発量について、RCM20では年間蒸発量は380mm/year（20年平均）であった。アメダスデータからは蒸発量をハーモン式より算定し、425mm/year（20年平均）であった。ハーモン式から算定する蒸発量は、可能蒸発量であるため、夏場の土壌水分が少ない期間では、実際の蒸発量よりも高く推定してしまい、夏場に高く冬場に低くなると一般に言われている。月毎で比較するとアメダスによる結果の方が夏場に高く冬場に低くなる傾向が認められたが、蒸発量は年間総量では、両者は大きな差はない。よって、年蒸発量の補正は行わないこととした。

(4) 補正の確認

上記の補正方法の妥当性を確認するために、利根荒川水共同域内のアメダスの降水量と気温データを用いて、水供給量を算定し、比較した。

アメダスデータから水供給量を求める際に降雪量、融雪量の算定を行うが、その算定にあたっては、利根荒川水共同域を積雪地域とそれ以外に分類し、別々に算定した。積雪地域の選定については、RCM20の年降雪量の20年平均を用いて、他の計算メッシュと比較して年平均降雪量が多いメッシュを積雪地域とした。ここでは、年平均積雪量が50mm/yearを閾値として、これより大きな値をとるメッシュを積雪地域とした。

アメダスデータより求めた水供給量とRCM20のデータを補正して求めた日単位の水供給量の比較を図-6、月単位の比較を図-7に示す。補正したRCM20のデータから

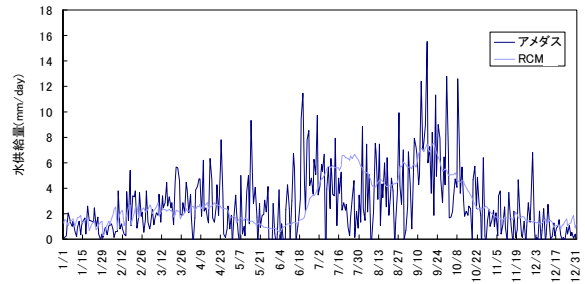


図-6 アメダス及びRCM20より算定した水供給量の比較（20年平均，日単位）

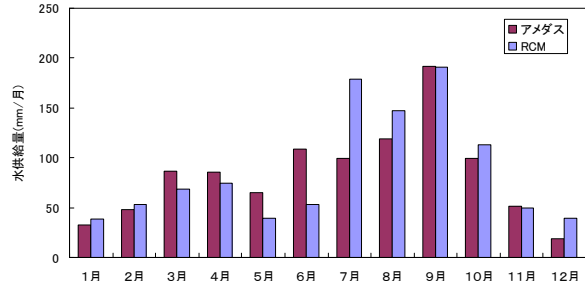


図-7 アメダス及びRCM20より算定した水供給量の比較（20年平均，月単位）

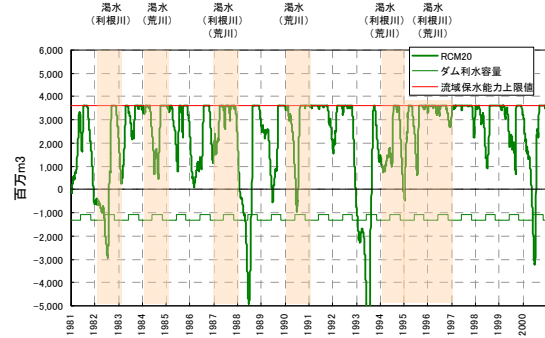


図-8 水需給バランス評価結果（RCM20）

算出した水供給量は、アメダスによる水供給量の日単位の変動を表現できてはいないが、傾向と月平均値は概ね再現することができた。よって、以降に示す渇水リスク評価には、RCM20のデータを補正して求めた水供給量を用いることとした。

(5) モデル流域における現在の水需給バランス

RCM20のデータを補正して求めた水供給量による水需給バランスの計算結果を図-8に示す。図中のハッチは実際に渇水被害（取水制限）が発生した年を示す。RCM20も含めて気候モデルのシミュレーションは、実際のある時点のある場所の気象を再現または予報するのではない³⁾ために、実際の渇水被害が発生した年と対応はしない。しかし、計算よりマイナスになる回数と実際に被害が発生した年数は同じであり、計算は概ね統計的に傾向を把握できていることが示された。

以上より、流域を1つのタンクと見なした水需給バランスモデルとRCM20のシミュレーション結果を用いて、水需給バランスの評価が可能と判断した。

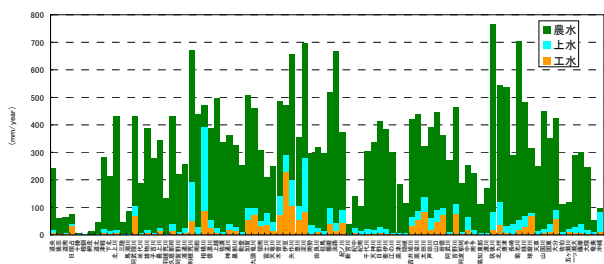


図-9 各水共同域の水需要量算定結果(現況)

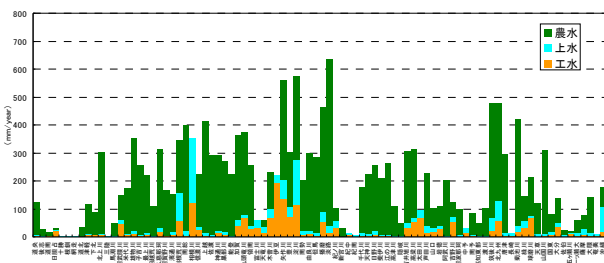


図-10 各水共同域の水需要量算定結果(将来)

4. 全国の将来の水需給バランス

(1) 将来の水需要量の推定

上水の将来の水需要量については、将来の人口を推定し、現況と同じ原単位を乗ずることで求めた。尚、将来は上水道普及率100%を想定した。

将来の人口の想定について、国立社会保障・人口問題研究所が予測している日本の将来推計人口⁴⁾ (2002年1月推計) 及び都道府県の将来推計人口⁵⁾ (2002年3月推計) を用いた。予測人口(最終予測年次2030年)のトレンドを線形外挿し、2080~2100年の人口増減率を算定した。

工水について、産業出荷額の経年傾向は実質経済成長率とほぼ一致していると仮定した。実質経済成長率の将来予測をする際には、将来の労働人口と労働生産性を推定し、将来値を推計する。よって、将来の労働生産性を推定すれば、前述の各水共同域の将来人口の増減率を用いて、現在の産業出荷額×人口増減率×労働生産性より将来の産業出荷額を推定することができる。労働生産性の推定値は、各機関^{6), 7), 8), 9)}が想定する100年後の平均値1.77をここでは用いることとした。これに、現況と同じ原単位を乗じて工水の水需要量を推定した。

農水について、まず各県における現在の第一次産業就業者数と水田面積との相関関係を評価する。次に、全人口に占める第一次産業就業者率が将来においても固定されると仮定し、将来の第一次産業就業者数を推定する。そして、推定した将来の第一次産業就業者数と水田面積との相関関係から将来の水田面積を推定した。これに、現況と同じ減水深を乗じて農水の水需要量を算定した。

全国の現況における各水共同域の年平均水需要量の算定結果を図-9に、将来における年平均水需要量の推定結果を図-10に示す。現在と将来を比較すると、全国的

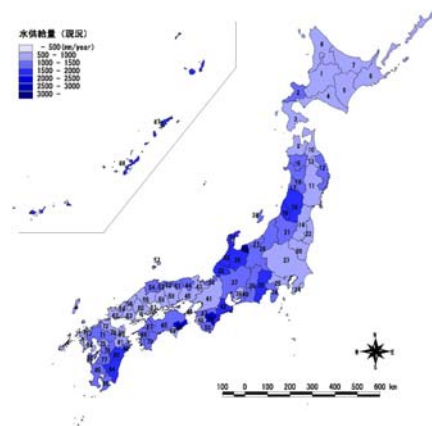


図-11 各水共同域の水供給量算定結果(現況)

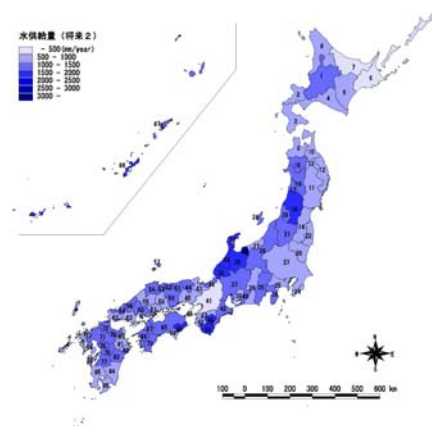


図-12 各水共同域の水供給量算定結果(将来)

に上水で約37%減、工水で約4%減、農水で約46%減となった。

(2) 将来の水供給量の推定

将来の水需要量について、RCM20の将来予測シミュレーション(将来シナリオ:SRES-A2)結果を用いて、前述のモデル流域と同様の補正を行い水供給量を算定した。現況の年平均水供給量の算定結果を図-11に、将来の年平均水供給量の算定結果を図-12に示す。現況と将来で年平均降水量を比較すると、全国的に将来は5%程度の増加であった。

5. 全国の将来の渇水リスク評価結果

水共同域毎に、評価指標として、「マイナス日数」、「最大マイナス値」、「マイナス日数×マイナス値」を算出し、現況と将来の変化比を比較することにより、将来の渇水リスクの評価を行った。水需要量を現在に固定した場合における、将来と現在の「マイナス日数」の変化比を図-13に、「最大マイナス値」の変化比を図-14に、「マイナス日数×マイナス値」の変化比を図-15に示す。変化比が1を超え渇水リスクが高まる水共同域数は、「マイナス日数」の指標では26地域、「最大マイナス値」では25地域、「マイナス日数×マイナス値」では

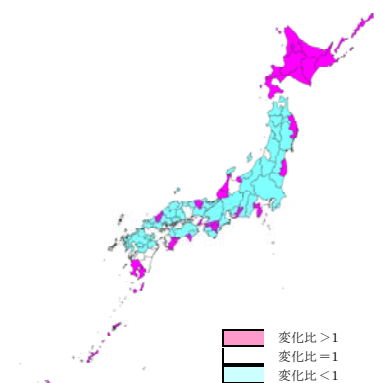


図-13 マイナス日数の変化比
(水需要:現在固定,100年後/現況)

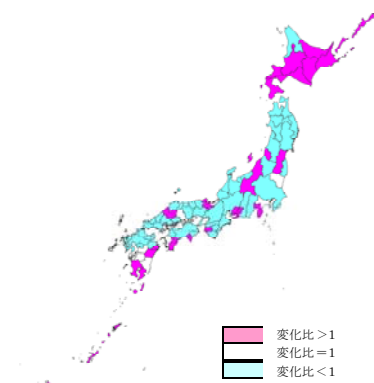


図-14 最大マイナス値の変化比
(水需要:現在固定,100年後/現況)

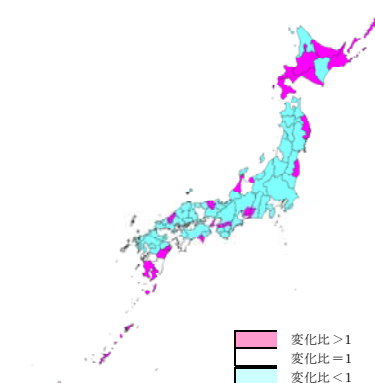


図-15 マイナス日数×マイナス値の変化比
(水需要:現在固定,100年後/現況)

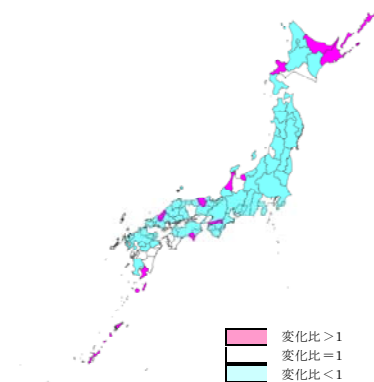


図-16 マイナス日数の変化比
(水需要:将来推定,100年後/現況)

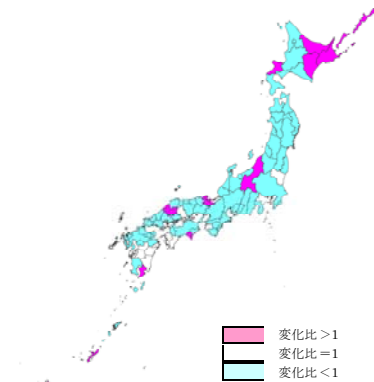


図-17 最大マイナス値の変化比
(水需要:将来推定,100年後/現況)

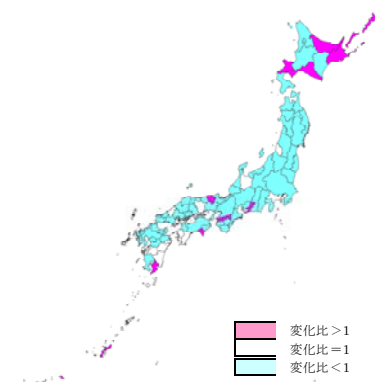


図-18 マイナス日数×マイナス値の変化比
(水需要:将来推定,100年後/現況)

23地域となり、現在よりも渇水リスクが高まる可能性があると考えられる。また、3つの指標のいずれかの変化比が1を上回る水共同域数は37地域となり、これらの地域では、渇水日数の長期化や、渇水時の深刻化の可能性が考えられる結果となった。

水需要量を将来推定値とした場合における将来と現況の「マイナス日数」、「最大マイナス値」、「マイナス日数×マイナス値」の変化比をそれぞれ図-16, 17, 18に示す。変化比が1を超える水共同域数は、「マイナス日数」では10地域、「最大マイナス値」では12地域、「マイナス日数×マイナス値」では10地域となった。また、3つの指標のいずれかの変化比が1を上回る水共同域数は18地域となり、渇水リスクが増大する地域の数が半減する可能性が示唆された。

6. まとめと課題

本研究で用いた水需給バランス評価モデルは、水運用の実態を反映するには非常に粗いモデルである。そのため、ここで将来において渇水リスクが高まるとされた地域は必ずリスクが高まるとは言い切らず、その可能性についても言及することは現時点では不可能である。しかし、粗いモデルでの評価であるが、将来、渇水リスクが高まる地域が少なからず生じる可能性があるという結果は、

渇水に対する将来の危険性が潜在していることが示されている。水運用の実態を的確に表現するモデル構築し、より詳細な渇水リスク評価が必要である。

流域を一つのタンクとして見なした評価モデルは、流域全体に降った雨を流域の貯水能力に合わせて完全に貯留することができ、そこに貯留した水を需要量に応じてどの場所の需要に対しても自由に使用することができるという仮定を設けている。この仮定は実態と異なるため、今後は流域の降水に限定した水供給量の算定や取排水地点を考慮した水収支の計算が可能なモデルに改める必要がある。将来の水需要量の推定についても、人口予測を中心とした既存データのトレンドから簡易な方法により推定したが、より詳細な渇水リスク評価を行うためには、予測方法の更なる改良が必要である。また、将来の水供給量、水需要量について、複数の将来シナリオが考えられるが、ここではその中の1パターンについての結果を示したものであるに過ぎない。今後は、複数の水供給、水需要のシナリオを設定し、不確定性も含めた渇水リスク評価を行う必要がある。

謝辞：本研究は環境省の地球環境研究総合推進費(S-4)：温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合的評価に関する研究の援助を受けた。

参考文献

- 1) 環境省：IPCC 第4次評価報告書第2作業部会，2007.
- 2) 気象庁：地球温暖化予測情報第6巻，2005.
- 3) 沖大幹：気候変動研究と水文学，気候変動将来推計情報の水文分野での利用促進シンポジウム，2008.
- 4) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口，2002.
- 5) 国立社会保障・人口問題研究所：都道府県別将来推計人口，2002.
- 6) 日本経済研究センター：長期経済予測，2002.
- 7) 財務省財務総合政策研究所：少子高齢化の進展と今後のわが国の経済社会の展望，2000.
- 8) 経済企画庁総合計画局：人口減少下の経済に関する研究会，2000.
- 9) 経済企画庁経済研究所：高齢化の経済分析，1997.
- 10) 和田一範，川崎将生，富沢洋介，楠昌司，栗原和夫：高解像度全球モデルおよび地域気候モデルを用いた地球温暖化に伴う洪水リスクの評価，水文水資源学会誌，Vol.21, pp.12-22, 2008.
- 11) 和田一範，村瀬勝彦，富沢洋介：地域気候モデルを用いた地球温暖化に伴う洪水リスク評価に関する考察，水工学論文集，Vol.50, pp.613-618, 2006.