

地域間リスク配分を考慮した渇水調整ルールの実証的分析*

Practical Analysis of Drought Adjustment Rules for Regional Allocation of Risk*

高木朗義**・武藤慎一**・濱平涼子***

By Akiyoshi TAKAGI**・Shinichi MUTO and Ryoko HAMAHIRA***

1. はじめに

わが国では毎年のようにどこかの地域が渇水にみまわれている^{1), 2)}。特に1994年には、非常に広範囲な地域において水道水の断水、工場の操業停止、農作物の枯死などが発生し、生活や産業に多大な被害をもたらした。その際、渇水対策の問題点の1つとして、渇水被害に地域較差が生じ、その是正のための調整が大変困難であることが明らかとなった。すなわち、同じ水系の水を利用している地域でも歴史的な経緯から水利権に対する優先順位によって断水した地域と断水しなかった地域が存在したため、公平性の観点からその是正のための調整を行ったが、その調整が難航し、非常に苦労したというものである。この経験を生かして渇水時における調整を行うことが河川法に盛り込まれたが、その具体的な調整方法については未だ確立していないと思われる。

一方、最近降雨が集中化する傾向にあり、近年の流況では利水安全度が低下しており、渇水になり易くなっていると言われている²⁾。しかし、そのために必要な施設の整備には長期間を有し、地域によっては施設を整備しても貯水量が確保できない可能性も指摘されているため、渇水時における対応が今後益々重要視されていくと予想される。

そこで本研究では、複数主体の水消費行動、および渇水時の水不足による不均衡経済状態を捉えた

応用一般均衡モデルを構築した上で、地域間のリスク配分を考慮したいくつかの渇水調整ルールを考え、1家計当たりの期待効用水準と社会的厚生を評価指標として渇水調整ルールの良否について実証的な分析を行うことを目的とする。

渇水対策に関する既往研究は多数ある。例えば、多々納³⁾は、利水用貯留施設整備代替案について経済的評価と信頼性評価を総合的に組み合わせた設計・評価方法を構築している。その中では、渇水時における家計の水消費行動や、利水用貯留施設操作ルールについて分析している。山田⁴⁾は主体間、地域間の水配分問題等を考慮し、一水系を対象とした空間経済モデルを構築している。そこでは理想的な水市場を持つ経済システムと既存制度（水利権・水利賦課金制度）を持つ経済システムとの比較により、水資源の有効的な利用のあり方について分析を行っている。結果として、社会的厚生を最大にするような水価格の存在を確認し、現存制度が存在する経済システムに比べ、価格メカニズムを活用した水市場が存在する経済システムの方が社会的厚生水準を高くすることを示している。本研究では、この2つの研究における行動モデルを参考にして家計の行動モデルを定式化している。

地域間のリスク配分については、横松・小林⁵⁾が分析を行っている。ここでは、効率的な地域間リスク配分を達成するためには、中央政府による地域間財政移転制度を併用する必要があることを示している。本研究で取り上げる渇水調整ルールも中央政府による強制的な実施を想定している。また、渇水は洪水や地震と異なり災害がゆっくり発生するため、災害時においてリスクコントロールが可能である。すなわち、事中において機能するリスク配分方法が存在するため、本研究ではそれに焦点を当てて分析する。

*キーワード：水資源計画

**正員、博（工）、岐阜大学工学部土木工学科

(〒501-1193 岐阜市柳戸1-1、

TEL058-293-2445, FAX058-230-1248)

***株式会社名光コンサルタント名古屋支店

(名古屋市中区葵2-3-15、ふぁみーゆ葵ビル8F

TEL052-937-8390, FAX052-937-8391)

上田・高木・長谷川・森杉⁹⁾は、災害発生時における各種施設の破壊・損失によって各経済主体が望むだけの需給が不可能となり、需給の不一致が生ずる、いわゆる不均衡経済状態に陥る点を考慮した空間経済モデルを構築している。不均衡経済状態を表現するために、まず不均衡経済モデルの各財、サービス市場で集計された需要量の表現値が供給量のそれと一致して清算される条件を定義するとともに、各経済主体の割り当てメカニズムおよび価格決定メカニズムを定義している。本研究における精算条件および財の割り当てメカニズムは、この研究の定義を用いることとする。

2. 応用一般均衡モデルの構築

(1) 家計の行動モデル

家計は予算制約と各財取引可能量の制約下で期待効用が最大になるように各需要量をコントロールする。

$$E^j(V_i^j) = \max_{z_i^{jj}, x_i^{jj}, a_i^j, s_i^j} E^j \left(U \left(z_i^{jj}, x_i^{jj}, a_i^j, s_i^j, H_i^j \right) \right) \quad (1)$$

$$s.t. \sum_{j \in J} p_i^j z_i^{jj} + \sum_{j \in J} q_i^{jj} x_i^{jj} + r_i^j a_i^j + w s \leq w_i^j \Omega_i^j + y_i + y_i' - T_i^j + g_{A_i}^j \quad (\forall i \in I, \forall j \in J, \forall j' \in J) \quad (2)$$

ここで、 $E^j(V_i^j)$ ：期待効用水準、 $U(\cdot)$ ：効用水準、 z_i^{jj} ：工業財需要量、 x_i^{jj} ：農産物需要量、 a_i^j ：生活用水需要量、 H_i^j ：環境質、 p_i^j ：工業財価格、 q_i^{jj} ：農産物価格、 r_i^j ：生活用水価格、 w_i^j ：賃金率、 $\Omega - s = l_i^j$ ：労働供給量、 s ：余暇時間、 Ω ：総利用可能時間、 y_i ：企業からの配当所得、 y_i' ：農業からの配当所得、 T_i^j ：税、 $g_{A_i}^j$ ：地方政府の合成財需要による配当所得。

(2) 工業の行動モデル

工業は生産技術制約の下で工業財を生産し、期待利潤を最大にするように行動する。

$$E(\Pi_i^j) = \max_{z_i^j, L_i^j, d_i^j, C_i^j} E \{ p_i^j z_i^j - w_i^j L_i^j - R_i^j d_i^j - \lambda_i^j C_i^j \} \quad (3)$$

$$s.t. z_i^j = Z \left(L_i^j, d_i^j, C_i^j, H_i^j \right) \quad (\forall i \in I, \forall j \in J) \quad (4)$$

ここで、 Π_i^j ：利潤、 z_i^j ：工業財供給量、 L_i^j ：労働需要量、 d_i^j ：工業用水需要量、 C_i^j ：資本量、 R_i^j ：工業用水価格、 λ_i^j ：資本利子率。

(3) 農業の行動モデル

農業は生産技術制約の下で農作物を生産し、期待利潤を最大にするように行動する。

$$E(\Theta_i^j) = \max_{X_i^j, L_i^j, f_i^j, C_i^j} E \{ q_i^j X_i^j - w_i^j L_i^j - R_i^j f_i^j - \lambda_i^j C_i^j \} \quad (5)$$

$$s.t. X_i^j = X \left(L_i^j, f_i^j, C_i^j, H_i^j \right) \quad (\forall i \in I, \forall j \in J) \quad (6)$$

ここで、 Θ_i^j ：利潤、 X_i^j ：農産物供給量、 L_i^j ：労働需要量、 f_i^j ：農業用水需要量、 C_i^j ：資本量、 R_i^j ：農業用水価格、 λ_i^j ：資本利子率。

(4) 地方政府の行動モデル

地方政府は河川から取水した水を家計、企業、農業に供給し、各主体から水費用分の合成財を需要する。

$$M_i^j = A_i^j + D_i^j + F_i^j \quad (7)$$

$$g_{A_i}^j + g_{D_i}^j + g_{F_i}^j = A_i^j r_i^j + D_i^j R_i^j + F_i^j R_i^j + T_i^j \quad (8)$$

ここで、 M ：取水量、 A_i^j ：生活用水供給量、 D_i^j ：工業用水供給量、 F_i^j ：農業用水供給量、 $g_{D_i}^j$ ：工業からの合成財需要分、 $g_{F_i}^j$ ：農業からの合成財需要分。

(5) 精算条件と財の割り当てメカニズム⁹⁾

不均衡経済状態を表現するために、各市場で集計された需要量の表現値が供給量と一致して清算される条件、各主体への財の割り当てメカニズムを定

義する。

a) 清算条件

$$\text{生活用水: } a_i^j = A_i^j \quad (\forall i \in I, \forall j \in J) \quad (9)$$

$$\text{工業用水: } d_i^j = D_i^j \quad (\forall i \in I, \forall j \in J) \quad (10)$$

$$\text{農業用水: } f_i^j = F_i^j \quad (\forall i \in I, \forall j \in J) \quad (11)$$

$$\text{労働: } L_i^j + L_i^{j'} = l_i^j \quad (\forall i \in I, \forall j \in J) \quad (12)$$

$$\text{合成財: } \sum_{j \in J} \left(z_i^{j'j} \right) + \sum_{j \in J} \left(x_i^{j''j} \right) = Z_i^j + X_i^j \quad (\forall i \in I, \forall j \in J) \quad (13)$$

b) 財の割り当てメカニズム²⁾

財の集計取引量は、集計需要量と集計供給量、および外生的制約量の最小量に一致するものとする。以下では生活用水、工業用水、農業用水についてのみ示すが、労働、工業財、農産物、余暇時間についても同様の割り当てメカニズムで表される。

$$\text{生活用水: } a_i^j = \min \left\{ a_i^j \left(r_i^j, Y_i^j \right), \tilde{a}_i^j \right\} \quad (14)$$

$$\text{工業用水: } d_i^j = \min \left\{ d_i^j \left(q_i^j, w_i^j, R_i^j, H_i^j \right), \tilde{d}_i^j \right\} \quad (15)$$

$$\text{農業用水: } f_i^j = \min \left\{ f_i^j \left(p_i^j, w_i^j, R_i^j, H_i^j \right), \tilde{f}_i^j \right\} \quad (16)$$

ここで、 $\tilde{a}_i^j$ 、 $\tilde{A}_i^j$ ：生活用水需要量、供給量の割り当て上限値、 $\tilde{f}_i^j$ 、 $\tilde{F}_i^j$ ：工業用水需要量、供給量の割り当て上限値、 $\tilde{d}_i^j$ 、 $\tilde{D}_i^j$ ：農業用水需要量、供給量の割り当て上限値。

3. 渇水調整ルールの比較検討

(1) 計算条件

同一河川に水源を持つ K 用水系、N 用水系、A 用水系の 3 地域を対象に、1994 年の渇水状況を踏まえた数値シミュレーションを行って、渇水調整ルールについて検討する。各用水系の水需要量、水供給価格体系、1994 年の平均取水制限率は、各種統計書などから表 1～表 3 に示すようにセットした。

(2) 渇水調整ルールの設定

渇水調整ルールは、中央政府により強制的に実

表 1 各用水系の水需要量 (単位：千 m³)

	生活用水	工業用水	農業用水
K 用水	170,506	151,880	168,294
N 用水	604,758	26,560	239,232
A 用水	145,681	242,117	355,645

表 2 各用水系の水供給価格体系 (単位：円)

	生活用水		工業用水		農業用水
	基本料金	超過料金	基本料金	超過料金	
K 用水	1054	107	45	90	8322
N 用水	387	86	30	60	
A 用水	339	107	29.5	59	

表 3 1994 年における各用水系の平均取水制限

	生活用水	工業用水	農業用水
K 用水	24.2%	45.4%	45.4%
N 用水	未調査	未調査	未調査
A 用水	22.8%	42.9%	42.9%

表 4 渇水調整ルールの設定

	渇水調整方法
ルール 1	地域間で水供給価格体系を統一
ルール 1-1	K 用水の水供給価格体系で統一
ルール 1-2	N 用水の水供給価格体系で統一
ルール 1-3	A 用水の水供給価格体系で統一
ルール 1-4	各用水系の平均的な水供給価格体系で統一
ルール 2	地域間で取水制限率を統一
ルール 2-1	K 用水の取水制限率で統一
ルール 3	地域間で水供給価格体系、取水制限率を統一
ルール 3-1	N 用水の水供給価格体系、K 用水の取水制限率で統一

施されると想定し、カリフォルニア州で実施されている渇水調整ルール⁷⁾などを参考にしながら、表 4 に示す実現可能なルールを考えた。なお、ここでの渇水調整ルールは地域間のリスク配分のみに着目し、主体間の調整は行わないこととする。また、渇水時には水系全体で水供給が不足しているため、ルール 2、3 については最も厳しい取水制限率となっている K 用水の取水制限率に統一することしか実現できないため、本研究では 2-1、3-1 というルールのみを想定して分析を行うこととする。

(3) 数値シミュレーションの結果と考察

数値シミュレーションの結果を表－5～表－6に示す。ここで社会的厚生とは、各用水系の期待効用水準に世帯数を乗じて合計したものであり、社会全体における効率性を示した指標である。それに対して期待効用水準は公平性の指標である。

ルール1では、喝水調整しない場合に比べて期待効用水準の格差がわずかながら小さくなった。最も期待効用水準の格差が小さくなったのは、ルール1-2（N用水の水供給価格体系に統一）であり、このとき社会的厚生も最大となっている。このことから、ルール1-2が地域間で最も公平であり、かつ社会全体でも最も効率的である。ルール2では、最も厳しいK用水の節水率に統一させたため、喝水調整しない場合に比べて期待効用水準、社会的厚生とも小さくなり、社会全体としては不効率となったが、地域間の格差は小さくなり、地域間で公平になることが示された。ルール3でも、同様に期待効用水準、社会的厚生とも小さくなったが、地域間の格差は小さくなり、地域間で公平になることが示された。また、ルール3はルール2よりも地域間の格差が小さくなり、社会的厚生も大きくなっている。

以上のことから、喝水調整しない場合に比べて水供給価格体系、取水制限率を統一させるという調整を行うことにより地域間の格差は小さくなることが確認できた。また、水供給価格体系を統一させることよりも取水制限率を統一させることの方が期待効用水準の変化が大きい。しかし、喝水調整しない場合に比べて社会的に厚生が大きくなっているのは、ルール1-2（水供給価格体系をN用水に統一）のみである。

4. おわりに

本研究では、喝水による社会経済への影響を分析できる応用一般均衡モデルを構築し、地域間で水供給価格体系、取水制限率を統一する喝水調整ルールが地域間のリスク配分を達成することを実証的に確認した。しかし、そのルールが必ずしも社会全体の効率性を高めるとは限らないことも同時に示した。

今後は最適な喝水調整ルールについて検討していきたい。

表－5 1家計当たりの期待効用水準

	K用水	N用水	A用水
喝水調整無	0.119919	0.154709	0.158293
ルール1-1	0.119919	0.154651	0.158292
ルール1-2	0.120000	0.154709	0.158309
ルール1-3	0.119923	0.154651	0.158293
ルール1-4	0.119948	0.154672	0.158298
ルール2-1	0.119919	0.154567	0.158004
ルール3-1	0.120000	0.154567	0.158021

表－6 社会的厚生

喝水調整無	757,611
ルール1-1	757,479
ルール1-2	757,691
ルール1-3	757,482
ルール1-4	757,555
ルール2-1	756,661
ルール3-1	756,741

参考文献

- 1) 国土交通省河川局：既往の主な喝水，<http://www.mlit.go.jp/river/saigai/kassui/index.html>.
- 2) 国土庁編：新しい全国総合水資源計画（ウォータープラン21），1999.
- 3) 多々納裕一：利水用貯留施設代替案の設計・評価の方法論に関する研究，京都大学博士学位論文，1992
- 4) 山田貴久：水資源政策の厚生分析，岐阜大学修士論文，1997.
- 5) 横松宗太・小林潔司：分権的防災投資と地域間災害リスク配分，土木計画学研究・講演集，No.23(2)，pp.149-152，2000.
- 6) 上田孝行，高木朗義，長谷川俊英，森杉壽芳：防災投資評価のための不均衡経済モデル，土木計画学シンポジウム『阪神・淡路大震災に学ぶー土木計画学からのアプローチ』阪神・淡路大震災土木計画学調査研究論文集，pp.31-38，1997.
- 7) D. N. Kennedy：Water Resources Development and Management in California – A Historical Perspective，アメリカ水資源セミナー・講演論文集，水文・水資源学会，pp.26-49，2000.