慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	河川流域における最適水配分について
Sub Title	Optimal water allocation in a river basin
Author	大沼, あゆみ(Onuma, Ayumi)
Publisher	慶應義塾経済学会
Publication year	2003
Jtitle	三田学会雑誌 (Keio journal of economics). Vol.96, No.2 (2003. 7) ,p.187(49)- 199(61)
JaLC DOI	10.14991/001.20030701-0049
Abstract	河川流域で, 複数の地域が水を用いた経済活動を行っている場合, 水配分の最適性（効率性）は, 水利権の取引によっても実現されない。本論では, 下流の地域が, 水利権の取引と財政政策を組み合わせることで, 最適配分が実現可能であることを示す。一つの政策は, 下流政府が水利権の取引自体に課税と補助金政策を組み合わせることである。もう一つは, 下流政府が, 水利権取引のもとで, 生産財に補助金を与えることである。 In cases where multiple regions draw water from a river basin for their economic activities, the optimality (efficiency) of water allocation cannot be realized through trading of water-use rights. This study shows that it is possible for downstream regions to achieve an optimal allocation by combining the trades of water rights and fiscal policies. One such policy is for downstream governments to combine taxation on water-rights trades and subsidies. Another policy is for downstream governments to provide subsidies to goods produced based on water-rights trades.
Notes	特集：地球温暖化問題への対応および循環型社会の構築
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234610-20030701-0049

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

河川流域における最適水配分について

Optimal Water Allocation in a River Basin

大沼 あゆみ(Ayumi Onuma)

河川流域で，複数の地域が水を用いた経済活動を行っている場合，水配分の最適性（効率性）は，水利権の取引によっても実現されない。本論では，下流の地域が，水利権の取引と財政政策を組み合わせることで，最適配分が実現可能であることを示す。一つの政策は，下流政府が水利権の取引自体に課税と補助金政策を組み合わせることである。もう一つは，下流政府が，水利権取引のもとで，生産財に補助金を与えることである。

Abstract

In cases where multiple regions draw water from a river basin for their economic activities, the optimality (efficiency) of water allocation cannot be realized through trading of water-use rights. This study shows that it is possible for downstream regions to achieve an optimal allocation by combining the trades of water rights and fiscal policies. One such policy is for downstream governments to combine taxation on water-rights trades and subsidies. Another policy is for downstream governments to provide subsidies to goods produced based on water-rights trades.

「三田学会雑誌」96巻２号（2003年７月）

河川流域における最適水配分について*

大　沼　あゆみ

要　　旨

河川流域で，複数の地域が水を用いた経済活動を行っている場合，水配分の最適性（効率性）は，水利権の取引によっても実現されない。本論では，下流の地域が，水利権の取引と財政政策を組み合わせることで，最適配分が実現可能であることを示す。一つの政策は，下流政府が水利権の取引自体に課税と補助金政策を組み合わせることである。もう一つは，下流政府が，水利権取引のもとで，生産財に補助金を与えることである。

キーワード

河川，水配分，水利権取引，財政政策，上流・下流

1　はじめに

地球に存在する「水」のうち，利用可能な淡水は１％にも満たない。他方，人口増大や産業・農業の拡大により，水需要が増大している。2020年には，水需要は40％上昇すると予想され，また，世界人口の約２/３が水ストレスに悩むことになるだろうという推測もある（UNEP（2002））。以上を背景に，今日，水資源の不足に対する懸念が高まっている。

水循環の中でわれわれが使用できる水は，地表水としては，主に河川や湖沼に存在する。黄河やアラル海で，深刻な水の枯渇の問題が生じているのは，灌漑需要の増大による水不足の深刻化を象徴するものである。他方，もう一つの重要な水供給源である地下水も枯渇が進んでおり，アメリカのオガララ帯水層などでは涵養を超える取水が行われている[(1)]。このような状況の中で，地球温暖化も水不足の一層の悪化に拍車をかける可能性があると言われている。地球温暖化は，平均的な降雨量と蒸発量を共に増加させ，河川の水量に影響を与えると予測されているからである。他方，農薬

＊　本研究は，科学研究費基盤研究（C）（2）および（財）清明会の助成を受けている。

（１）　地下水の分析については，Brown（1974），Gisser（1983），Provencher and Burt（1993）などがある。また，水資源の経済分析の包括的な紹介は，Becker, N., N. Zeitouni and D. Zilberman（2000）や Easter, Rosegrant, and Dinar（eds.）（1998）を見られたい。

や産業排水による汚染も増加し，表流水および地下水に関わる環境汚染も増大している。

以上のような水資源が希少化する現状を背景として，水の利用をめぐる争いが深刻化しつつある。とりわけ，ライン川やドナウ川など，複数の国を流れる国際河川流域では，水の利用をめぐる上流国家と下流国家の間のトラブルが古くから起こってきたが，今日，ナイル川やユーフラテス川の水をめぐり，新たな国家間の対立が現われてきた。このように，水不足の拡大の中，河川における水配分の問題はその解決がますます重要になりつつある。水節約的な灌漑の開発などの技術的な対策と同様に，適切な経済的手段を選択することの重要性は大きい。

「水の取引市場」を設けることは，重要な経済的手段の一つである。水利権を定めて自由な取引を認めることで，地域間で水の限界便益が等しくさせられる。下流地域で水の限界便益が高いのにもかかわらず，上流で限界便益が十分低くなるまで過剰に取水してしまうことはこれにより回避される。インフォーマルな水の取引は，南アジアなどの，水不足が顕著な国々で行われてきた。これに対して，チリとメキシコは，国家的に確立された水の取引制度を有していることで知られている。アメリカでも，カリフォルニアなどの西部の州には独自の水取引の制度が存在している。

チリでは，水利権は一般に土地に付随するものではなく，水の使用者に無料で与えられており，また，その権利は原則として売買や貸与が認められている。水利権の取引は，排出権の取引と同様に，水配分の効率性を向上させることが期待されている。実際，チリに関してエルクィ・ヴァレー（Elqui Valley）やリマリ・ヴァレー（Limarí Valley）などでの水取引による正の経済効果が推定されている。さらに，チリ全体で農業生産が拡大したと指摘されている。加えて，水取引の効果として重要と考えられるもう一つの特徴は，水確保のための巨大投資を必要とする設備――たとえばダム――の建設を不要にすることである。チリのラ・セレナ市では，水取引により，水使用の28パーセントを近隣の農民から購入することが出来るようになり，政府は計画されていたダム建設を延期できることになった。(2) この水取引は，中国でも行われるようになった。断流と呼ばれる現象が頻発した黄河では，流域の浙江省義烏市が隣の東陽市より永久的な使用権を購入するという水利権取引が行われたのである。(3)

しかしながら，河川における水使用に際し，下流に対する外部費用が発生する場合は，本論でも示すように，水利権取引による水配分は最適（効率的）とはならない。だが，水利権の取引のメリット――水節約のインセンティブをもたらすこと，また，水の使用技術を向上させる投資を生み出すことなど――は非常に大きいと考えられる。この優れた経済的手段と水配分の効率性を両立させることは出来ないのであろうか？(4)　本論では，この問題を考察する。

（2）　以上の水取引の現状の説明は Thobani（1998）に依っている。また，チリの水利権取引については，たとえば，Lee（1999）も詳しい。

（3）　国土交通省『平成13年度　日本の水資源』p.50 参照。本節で述べた世界の水資源の状況についても主に同書に依っている。

本論では，水利権取引市場をベースとして下流の政府が行う財政政策のスキームを提示する。一つは，下流地域で上流との水利権の取引に課税と補助金賦与を行うものである。もう一つは，生産物に補助金を賦与するものである。これらのもとで，適切な課税額・補助金額を定めることで，効率的な水資源配分が水利権取引市場の均衡として表されることが示される。

本論の構成は，以下のとおりである。最初に，河川流域に複数の地域が存在し，経済活動を行うモデルが紹介される。ここでは，水利用による経済活動により，下流地域を流れる水量・水質とも低下するモデルが構築されている。つぎに，各地域で経済的便益が最大化される水使用は最適（効率的）ではないこと，また，水利権の取引によってもこの非効率性が解消されないことが示される。つぎに，二つの財政政策のスキームを提示する。最後に，結論が述べられる。

2　モデル

一つの川の流域に，上流から下流まで地域が N だけあるものと想定する。各地域には，独立した政府がそれぞれ存在している。また，各地域では，水を取水・投入することによる生産活動が行われている。生産物はすべての地域で同一であり，価格 P で販売される。ここで，各地域の代表的生産者のもつ生産関数を，次のように定式化しよう。

$$X^i = F^i(W_i, Q_i),\ i=1, \cdots, N. \tag{1}$$

ここで，X^i，W_i，F^i は，それぞれ地域 i の生産量，使用水量，および生産関数である。他方，Q_i は，流域 i を流れる水の質を表している。われわれは，

$$\partial X^i/\partial W_i(\equiv F^i_w) > 0,\ \partial X^i/\partial Q_i(\equiv F^i_Q) > 0, \tag{2}$$

と仮定する。すなわち，水の限界生産性は正であり，また，水質が向上することで生産は増加する。さらに，水の限界生産性は逓減するものと仮定する。すなわち，$\partial^2 F^i/\partial W_i^2(\equiv F^i_{ww}) < 0$ である。

他方，水の取水費用 C_i は，次の関数で表されると仮定する。

$$C_i = C^i(W_i, S_i) \tag{3}$$

S_i は，地域 i が直面する水量である。われわれは，

$$\partial C^i/\partial W_i(\equiv C^i_w) > 0,\ \partial C^i/\partial S_i(\equiv C^i_S) < 0, \tag{4}$$

と仮定する。最後に，生産・費用関数に関して，

（4） Rogers（1993）では，ゲーム理論に基づいた考察を提示している。

$$\partial^2 F^i/\partial W_i \partial Q_i (\equiv F^i_{WQ}) \geq 0,\ \partial^2 C^i/\partial W_i \partial S_i (\equiv C^i_{WS}) \leq 0, \tag{5}$$

を仮定する。

地域１が直面する Q_1，S_1 は，外生的に与えられているものとする。他方，他の Q_i，S_i は両者とも外生的に与えられるのではなく，流域 i の上流の取水量 $W_{-i} \equiv \sum_{j=1}^{i-1} W_j$ に依存する。ここで，１以外の地域が直面する Q_i，S_i は以下のように定まるものとする。

$$\begin{aligned} Q_i &= Q(W_{-i}, Q_1) \\ S_i &= S(W_{-i}, S_1), (i \geq 2) \end{aligned} \tag{6}$$

ここで，$\partial Q/\partial W_{-i} \leq 0$ および $\partial S/\partial W_{-i} < 0$ を仮定する。[5] ここでは，上流で取水される水量が多いほど，下流が取水する水には使用済みの水が多くなるため，水質が向上することはないことを想定している。

生産者が政府に対して水の取水料金を支払う必要がない場合，各地域の経済的便益 $\prod^i$ は生産者の利潤と等しく，以下のように定まることになる。

$$\prod^i = PF^i(W_i, Q_i) - C^i(W_i, S_i) \equiv \prod^i(W_i, Q_i, S_i) \tag{7}$$

である。地域１以外の各地域の経済的便益は，したがって，各地域の上流での取水量にネガティブに依存することになる。われわれの仮定より，水の限界便益は減少する。すなわち，$\partial^2 \prod^i/\partial W_i^2 (\prod^i_{ww}) < 0$ である。以上がわれわれの用いるモデルである。

3　最適水配分と純粋地域的最適の失敗

本節では，われわれのモデルでの水配分の効率性条件を提示する。Q_1，S_1 を所与としたとき，各流域の経済的便益の和を最大化する水配分の条件を求める。すなわち，次の解を求める。

$$\max_{W_1, \cdots, W_N} \sum_{i=1}^{N} \prod^i. \tag{8}$$

最適配分を（$W_1^*, \cdots, W_N^*$）と表す。最適条件は，以下のものである。

$$\sum_{j=i}^{N} \frac{\partial \prod^j}{\partial W_i} = 0,\ i = 1, \cdots, N. \tag{9}$$

（５）　一般に，各地域のリターン・フローがあるため $S_i > S_1 - W_{-i}$ である。

したがって，次の条件が最適条件となる。

$$P\frac{\partial X^i}{\partial W_i}-\frac{\partial C^i}{\partial W_i}=-\sum_{j=i+1}^{N}\left[P\frac{\partial X^j}{\partial Q_j}\cdot\frac{\partial Q^j}{\partial W_i}-\frac{\partial C^j}{\partial S_j}\cdot\frac{\partial S^j}{\partial W_i}\right],\ i=1,\cdots,N-1. \tag{10}$$

また，

$$P\frac{\partial X^N}{\partial W_N}-\frac{\partial C^N}{\partial W_N}=0 \tag{11}$$

以下では，記述上の簡単化のため，次のように λ_i を定める。

$$\lambda_i=-\sum_{j=i+1}^{N}\left[P\frac{\partial X^j}{\partial Q_j}\cdot\frac{\partial Q^j}{\partial W_i}-\frac{\partial C^j}{\partial S_j}\cdot\frac{\partial S^j}{\partial W_i}\right], \tag{12}$$

われわれの定義より，$\lambda_i>0$ である。λ_i は，地域 i における水使用の限界外部費用に他ならない。他方，(6) より，

$$\frac{\partial Q^j}{\partial W_i}=\frac{\partial Q}{\partial W_{-j}},\ \forall j>i,\ i=1,\cdots,N-1. \tag{13}$$

である。同様に，

$$\frac{\partial S^j}{\partial W_i}=\frac{\partial S}{\partial W_{-j}},\ \forall j>i,\ i=1,\cdots,N-1. \tag{14}$$

したがって，次の性質が成立することになる。

$$\lambda_1>\lambda_2>\cdots>\lambda_{N-1}. \tag{15}$$

また，

$$\lambda_N=0 \tag{16}$$

である。すなわち，最適配分は，各地域の限界便益が下流に行くほど小さくなる水配分でなければならない。この最適性条件は，パレート効率性条件でもある。河川の管理が一国でしかも規制的に行われている場合は，上流が外部費用を内部化する取水政策をとることは可能である。しかし，河川が複数の国を通過する場合，このような取水政策を実現することは困難である。

さて，各地域は，分権的にそれぞれの経済的便益を最大化するものとする。本論では，政策的介入のない場合に各地域で便益が最大化された状態を「純粋地域的最適」と呼ぶ。すなわち，このと

き，各地域で，

$$P\frac{\partial X^i}{\partial W_i}-\frac{\partial C^i}{\partial W_i}=0,\ i=1,\cdots,N. \tag{17}$$

が成立している。これを，（$W_1^m,\cdots,W_N^m$）と表そう。しかし，この水利用は（10）を明らかに満たしていないことがわかる。すなわち，

命題 1　純粋地域的最適水利用配分（$W_1^m,\cdots,W_N^m$）は，最適水配分（$W_1^*,\cdots,W_N^*$）とはならない。特に，最上流地域の純粋最適水利用量は最適水利用量に比して過剰となる。すなわち，$W_1^m>W_1^*$ である。

後半部分は，$\prod_{ww}^i<0$ より明らかである。このように，各地域が便益最大化をはかることは，非効率的な水配分をもたらす。

水資源の配分の対立や非効率性を解消する手段として注目されているのが，「水利権取引制度」である。この制度では，あらかじめ水利用権を各地域に与え，自由な市場取引を認めるものである。いま，取引費用がゼロであるとの仮定のもとで，水利権の取引制度を導入するとしよう。また，水利権の初期割当を（$\overline{W}_1,\cdots,\overline{W}_N$）としよう。さらに，市場で取引される許可証の価格を P_w としよう。すると，各地域での便益は，

$$\prod^i+P_w(\overline{W}_i-W_i) \tag{18}$$

と表されるようになる。水利権取引制度のもとでの地域的最適は，次の条件を満たすことになる。

$$\prod_w^i=P_w,\ i=1,\cdots,N. \tag{19}$$

すなわち，各地域で水の限界便益を許可証価格に等しくしている。したがって，（10）と対応させることにより，以下の結論を得る。

命題 2　水利権取引制度のもとで，最適水資源配分は実現不可能である。

（証明）（19）より，

$$\prod_w^i=\prod_w^j,\ \forall i,j=1,\cdots,N \tag{20}$$

が成立する。他方，（15）より，最適配分においては，$\prod_w^i>\prod_w^{i+1}\ (i=1,\cdots,N-1)$ でなければならない。（証明了）

河川における水利権取引が効率性を達成しない可能性については，以前から指摘されている（たとえば，Howe et al.（1986）参照）。その理由を標準的な汚染の排出権取引制度と比較して説明してみよう。二酸化炭素などの排出権取引の場合，どの経済主体にとっても汚染の限界外部費用が等しい。他方，各経済主体の合理的行動により，許可証価格と限界純便益が等しくなるように排出権市場の均衡が定まる。したがって，許可証の市場均衡価格が限界外部費用に等しくなるように許可証の発行量を決めることで，効率的な資源配分が達成できる。

しかし，河川の水資源配分のケースでは，限界外部費用が地域のロケーションで異なってしまう。(15) で明らかなように，限界外部費用は，最上流が最も大きく，下流地域に行くほど低下し，最下流ではゼロである。ところが，効率的な資源配分においては，各地域の限界便益は，それぞれの限界外部費用に等しくなければならない。他方，水利権の取引により，各地域の限界便益は一致してしまう。これが，水利権取引が効率性を達成しない理由なのである。

4　最適配分達成のための財政政策

では，最適水資源配分を達成するために，どのような経済的手段を導入すればよいのだろうか。伝統的な経済的手段は，ピグー課税的なものである。これは，最下流以外の各地域に，異なる水利用税制を導入することである。すなわち，効率的水配分における（$\lambda_1, \cdots, \lambda_{N-1}$）を水使用税（$t_1, \cdots, t_{N-1}$）として N 以外の各地域に課すことで，

$$\frac{\partial \Pi^i}{\partial W_i} = \lambda_i,\ i=1, \cdots, N-1. \tag{21}$$

および

$$\frac{\partial \Pi^N}{\partial W_N} = 0 \tag{22}$$

が成立するのである。しかしながら，地域が複数の国家にまたがる場合には（すなわち，国際河川の場合），このようなピグー的税制の導入はきわめて困難であろう。たとえば，最上流地域では，この課税の導入により，たとえ最上流地域での税収すべてが還元されたとしても，経済的便益は減少することになる。なぜならば，この地域が直面する（S_1，Q_1）が変化しないのに対して，最適水使用量が減少し，純便益が低下してしまうのである。

4.1　下流-税補助金スキーム

では，最上流地域の状況が，純粋地域的最適と比較して，少なくとも悪化しないような効率的な

水資源配分を水取引市場を利用して実現することは可能であるのだろうか？　以下では，水利権取引市場に最上流地域以外の政府が介入することで，効率的資源配分が実現可能であることを示す。議論の前に，課税を導入したときの経済効果に関して，次の仮定を置く。

仮定 1　任意の二つの水使用税（$t'_1, \cdots, t'_N$），（$t''_1, \cdots, t''_N$）に対して，$t'_i \geq t''_i (i=1, \cdots, h)$ および少なくとも一つの s に関して $t'_s > t''_s$ が成立していたとする（$s<h, h \leq N$）。すると，それぞれに対応する地域的最適水使用量を各 W'_i，W''_i とすると，$\sum_{i=1}^{h} W'_i < \sum_{i=1}^{h} W''_i$ が成立する。

この仮定は，各地域で生産者に水使用料金が税として課されている場合，その料金が上昇したとき，水使用総量が必ず減少することを意味している。

この仮定のもとで，以下が示される。

命題 3　仮定１のもとでは，最適水配分において，$\sum_{i=1}^{N} W_i^* < \sum_{i=1}^{N} W_i^m$ が成立する。また，$W_N^* \geq W_N^m$ である。

（証明）純粋地域的最適水配分では，$t_i=0\,(\forall i)$ である。他方，最適配分においては，$t_i>0\,(i=1, \cdots, N-1)$ および $t_N=0$ である。これより，仮定１を用いることで，$\sum_{i=1}^{N} W_i^* < \sum_{i=1}^{N} W_i^m$ が得られる。

さらに，仮定１より，$W^*_{-N} < W^m_{-N}$ が成立する。したがって，

$$Q_N^* > Q_N^m,\ S_N^* > S_N^m \tag{23}$$

が得られる。他方，$t_N^*=0$ であることから，最適配分においても

$$\Pi_w^N = 0 \tag{24}$$

である。したがって，(5) より，$W_N^* \geq W_N^m$ が得られる。（証明了）

以上より，最適水配分では，純粋地域的最適配分と比較して，水使用総量が必ず減少するものとなる。また，最上流の水使用量は減少するが，最下流の水使用量は減少しないことがわかった。

さて，最適配分を実現するための，以下のようなスキームを考えよう。

1．初期割当（$\overline{W}_1, \cdots, \overline{W}_N$）を定める。ここで，（$\overline{W}_1, \cdots, \overline{W}_N$）は，$\sum_{i=1}^{N} \overline{W}_i = \overline{W}_i^*$ を満たすものである。

2．ある地域の生産者が上流の地域の生産者と水利権の取引を行った際に，次のように税と補助金を組み合わせた政策介入を行う。

- 地域 i が，上流の地域 j から水利権を購入した場合，地域 i の政府は，購入者に対し，

一単位につき $\lambda_j^*-\lambda_i^*(\equiv\gamma_{j,i})$ だけの補助金を賦与する。

- 地域 i が，上流の地域 j に水利権を売却した場合，地域 i の政府は，売却者に対し，一単位につき $\gamma_{j,i}$ だけの税を徴収する。

3．下流との取引に対しては，課税徴収・補助金賦与は行わない。

このスキームを「下流-税補助金スキーム」と呼ぼう。すなわち，地域間の水利権取引に関して，下流の取引者の政府が政策的介入を行うのである。このスキームでは，最上流の地域では，課税・補助金賦与を行う必要がないことに注意しよう。このスキームの下で水利権取引市場で定まる各地域の水利権均衡価格を（$P_w^1, \cdots, P_w^N$）としよう。すると，次のように均衡価格は差別化されることになる。

$$P_w^i=\lambda_i^* \tag{25}$$

以下では，これを示そう。まず，

$$P_w^i=P_w^{i+1}+\gamma_{i,i+1} \tag{26}$$

を示す。最初に，仮に $P_w^i-P_w^{i+1}>\gamma_{i,i+1}$ であるとしよう。このとき，地域 $i+1$ の経済主体は，地域 $i+1$ で水利権を買い，地域 i で売ることで利益を得ることができる。したがって，上の等式は均衡では成立しない。したがって，$P_w^i-P_w^{i+1}\leq\gamma_{i,i+1}$ が成立しなければならない。さて，この式が厳密な不等式で成立していたとしよう。すると，地域 $i+1$ の経済主体は，地域 i で水利権を買い地域 $i+1$ で売ることで利益が得られるから，結局，均衡では（26）が成立しなければならない。

つぎに，（25）を示す。$P_w^1>\lambda_1^*$ である場合，（26）より

$$P_w^2-\lambda_2^*=P_w^1-\lambda_1^*>0 \tag{27}$$

となる。同様の議論を繰り返すことで，

$$P_w^i>\lambda_i^*,\ i=1,\cdots,N. \tag{28}$$

である。さて，仮定１より，この場合の水使用量の総和は最適値を下回り，水利権に超過供給が生じてしまう。したがって，水利権市場均衡にはなりえない。他方，$P_w^1<\lambda_1^*$ の場合，上と同様の議論より $P_w^i<\lambda_i^*\ (i=1,\cdots,N)$ である。この場合，仮定１より，水利権に超過需要が生じることになる。したがって，（25）が成立しなければならない。以上を次にまとめよう。

命題４　最適水配分は，$P_w^1=\lambda_1^*$ である「下流-税補助金スキーム」のもとでの水利権取引市場均衡として表され，$P_w^i=\lambda_i^*$ が成立する。また，仮定１のもとでは，実際に $P_w^1=\lambda_1^*$ が成立する。

以上のように，下流の政府が政策的介入を行う水利権取引制度のもとでは，最適配分が実現可能であることがわかった。

つぎに，このスキームのもとでの最上流地域の純便益が，どのように変化するかを考えよう。このスキームでは，地域間で水利権が取引されるとき，上流の地域の価格で水利権が売買されることになる。このとき，各地域の便益は水利権の初期配分に依存する。

まず，純粋地域的最適の経済便益を越えるような経済便益を与える，地域１への初期水利権配分が必ず存在することが示される。たとえば，純粋地域的最適水使用量 W_1^m だけの水利権を賦与したとしよう。このとき，自地域の水利権の「影の価格」はゼロである。他方，このスキームの均衡での水利権価格は正である。したがって，配分された水利権の一部を売却することにより失う便益は，売却収入より小さいものとなる。すなわち，

$$
\begin{aligned}
&\prod^1(W_1^*, Q_1, S_1)+P_w^1(W_1^m-W_1^*)\\
&=\prod^1(W_1^*, Q_1, S_1)+\int_{W_1^*}^{W_1^m}P_w^1 dW\\
&>\prod^1(W_1^*, Q_1, S_1)+\int_{W_1^*}^{W_1^m}\prod_w^1(W, Q_1, S_1)\,dW\\
&\equiv\prod^1(W_1^m, Q_1, S_1)
\end{aligned}
\tag{29}
$$

が成立する（$P_w^1=\prod_w^1(W_1^*, Q_1, S_1)$ および $\prod_{ww}<0$ より）。したがって，このスキームのもとでの水利権取引後の地域１の総便益が純粋地域的最適の場合の経済便益と同等になる初期水利権賦与 $\widetilde{W}_1(>W_1^*)$ が存在することになる。したがって，

$$\widetilde{W}_1<\overline{W}_1<W_1^m \tag{30}$$

を満たすように $\overline{W}_1$ をとった場合，われわれのスキームの導入により最上流地域の状況は，導入前に比して改善されることになる。

つぎに，下流の状況の変化を考察してみよう。ここでは，$N=2$，すなわち二つだけの地域が存在するケースに考察を限定する。したがって，地域１の水使用のみが外部費用をもたらすことになる。議論を容易にするために次の仮定を置く。

仮定 2　λ_1 はコンスタントである。

すなわち，W_1 および W_2 の大きさにかかわらず，地域１の限界外部費用 λ_1 は一定である。$N=2$ であるから，最適配分における下流地域の水の影の価格はゼロとなる。また，地域１の水利権価格は λ_1 に等しくなる。さて，このスキームのもとでの下流の便益は，

$$\prod^2(W_2^*, Q_2^*, S_2^*)-\lambda_1(W_2^*-\overline{W}_2) \tag{31}$$

と表される。第二項は，われわれのスキームのもとで，下流が上流から水利権を購入した場合，一単位につき補助金 λ_1 分の額が，結果的に下流政府から上流の売却者に支払われることを表している。ここで，取引量は，$W_2^*-\overline{W}_2=\overline{W}_1-W_1^*$ である。さて，仮定2より，

$$\prod^2(W_2^*, Q_2^*, S_2^*)=\prod^2(W_2^*, Q_2^m, S_2^m)+\lambda_1(W_1^m-W_1^*) \tag{32}$$

となる。したがって，(31) を用いることで，われわれのスキーム導入による地域2の便益 $\prod^{2*}$ は，次のように定まる。

$$\begin{aligned}\prod^{2*}&=\prod^2(W_2^*, Q_2^m, S_2^m)+\lambda_1(W_1^m-W_1^*)-\lambda_1(\overline{W}_1-W_1^*)\\&=\prod^2(W_2^*, Q_2^m, S_2^m)+\lambda_1(W_1^m-\overline{W}_1)\end{aligned} \tag{33}$$

さて，命題3より，$W_2^*\geq W_2^m$ である。したがって，$\prod^2(W_2^*, Q_2^m, S_2^m)\geq\prod^2(W_2^m, Q_2^m, S_2^m)$ が導かれる。以上より，

$$\prod^2(W_2^*, Q_2^m, S_2^m)+\lambda_1(W_1^m-\overline{W}_1)>\prod^2(W_2^m, Q_2^m, S_2^m) \tag{34}$$

が得られた。この議論を以下にまとめよう。

命題5　$N=2$ および仮定1，2のもとでは，$\overline{W}_1$ を (30) を満たすように配分するならば，下流-税補助金スキームの導入により，上流・下流地域の経済便益は，純粋地域的最適に比して共に増加する。

仮定2のもとでは，下流政府が支払うことになる $\lambda_1(W_2^*-\overline{W}_2)$ は，下流の生産者が水利権を購入することで回避することになる外部費用と完全に一致していることに注意しよう。したがって，取引に際して下流政府が上流に支払うことになる額は，外部費用の軽減という形で過不足なく返還されることになるのである。

4.2　生産補助金スキーム

つぎに，下流の地域が生産物に数量に応じて補助金を与える政策を簡単に取り上げる。これを，「生産補助金スキーム」と呼ぶ。これは，最上流地域以外の生産物一単位に，補助金 s_i を与えることである。これにより，各地域の生産者の利潤は，

$$(P+s_i)X^i-C^i \tag{35}$$

となる。このスキームでは s_i を次のように定める。

$$s_i = \theta_i^{-1}\gamma_{1,i} \tag{36}$$

ここで，θ_i は，最適配分における F_w^i を表している。他方，下流-税補助金スキームと同様に，$\sum_{i=1}^{N} W_i^*$ だけの水利権を発行する。このもとでは，各地域で，

$$(P+s_i)F_w^i - C_w^i = P_w \tag{37}$$

が成立することになる。s_i の定義より，これは，次を意味する。

$$PF_w^i - C_w^i = P_w - F_w^i\theta^{-1}(\lambda_1^* - \lambda_i^*) \tag{38}$$

したがって，$P_w = \lambda_1^*$ であるならば，最適水配分において，(10) が満たされている。すなわち，最適水配分は，われわれの生産補助金スキームにおいて，$P_w = \lambda_1^*$ となる水利権取引市場均衡として表されることになる。以上を次のようにまとめよう。

命題 6　最適水配分は，生産補助金スキームにおいて，$P_w = \lambda_1^*$ である水利権取引市場の市場均衡として表される。

このスキームでは，補助金の導入により，下流地域で水使用を増加させることが生産者にとって最適であるように誘導することで，河川の最適水配分が達成される。上流より水利権を購入することで，購入した水量がもたらす外部不経済が低下することになる。

5　おわりに

本論では，二つのスキームのもとで，最適水配分が水市場の均衡として表されることを示した。下流-税補助金スキームは，外部性をもたらす上流での水使用を控えさせる（水利権を上流から購入する）ことで補助金を与え，逆に，上流に水利権を売却し新たに外部不経済を被らせることに対して税金をかけるという意味で，直観的にわかりやすい。このスキームとは逆に，「上流-税補助金スキーム」，すなわち，下流に水利権を売却する時に補助金を受け取り，下流から購入する際に課税されるというスキームのもとでも，最適水配分は可能である。ただし，このスキームでは，上流地域に水利権を与えて水市場への参加に加えて，適切な課税・補助金政策をとることを要求する必要がある。下流-税補助金スキームおよび生産補助金スキームでは，上流地域に要求されることは，水利権配分のもとで水市場へ参加することだけであり，しかも，本論で指摘したように参加により便益が増大する可能性を持つという意味で，より実現性が高いと言えよう。

（経済学部教授）

参 考 文 献

Becker, N., N. Zeitouni and D. Zilberman (2000), "Issues in the economics of water resource", Tietenberg, T. and H. Folmer (eds.), *The international year book of environmental and resource economics 2000/2001*, Edward Elgar.

Brown, G. JR. (1974), "An optimal program for managing common property resources with congestion externalities", *Journal of Political Economy*, Vol.82, No.1, pp.163-173.

Easter, K. W., M. W. Rosegrant, and A. Dinar (eds.) (1998), *Markets for water: potential and performance*, Kluwer Academic Publishers.

Gisser, M. (1983), "Groundwater: focusing on the real issue", *Journal of Political Economy*, Vol.91, pp.1001-1027.

Howe, C. W., D. R. Schurmeier, and W. D. Shaw JR. (1986), "Innovative approaches to water allocation: the potential for water markets", *Water Resources Research*, Vol.22, No.4, pp.439-445.

国土交通省 (2001)『平成13年度版　日本の水資源』財務省印刷局。

Lee, T. R. (1999), *Water management in the 21st century: the allocation imperative*, Edward Elgar.

Provencher, B. and O. Burt (1993), "The externalities associated with the common property exploitation of groundwater", *Journal of Environmental Economics and Management*, No.24, pp.139-158.

Rogers, P. (1993), "The value of cooperation in resolving international river basin disputes", *Natural Resources Forum*, May, pp.117-131.

Rosegrant, M. W. and H. P. Binswanger (1994), "Markets in tradable water rights: potential for efficiency gains in developing country water", *World Development*, Vol.22, No.11, pp.1613-1625.

Thobani, M. (1998), "Meeting water needs in developing countries: resolving issues in establishing tradable water rights", in Easter et al. eds (1998).

UNEP (2002), Global Environment Outlook 3, Earthscan.