利根川水系の水移転が経済成長に与える影響に関する分析フレーム*

Water Resource Transfer of Reservoirs along the Tone River and Economic Growth*

横松宗太**・弦間正彦***・ロドニー・スミス****
by Muneta YOKOMATSU**, Masahiko GEMMA*** and Rodney SMITH****

1. はじめに

本研究では水資源の地域間の再配分がもたらす長期的な経済成長効果について定量的に分析するための多部門経済成長モデルを提案する．そして，関東地方を対象に，利根川水系の水資源の再配分がもたらす経済成長効果について数値シミュレーションを行う．

本研究では国際貿易を考慮した小国開放ラムゼー経済モデルを定式化する．モデルにおいて，日本国内は３つの地域で構成され，４つの産業部門が生産を行う．家計は毎期，市場を通じて労働と資産，土地を提供して要素所得を得る傍ら，各部門で生産された財やサービスを消費する．さらに家計は無限の将来視野をもち，貯蓄と借り入れによって資産ストックをコントロールする．本研究では完全に合理的な家計や企業と，摩擦のない市場を仮定する．また，産業連関表や水利用実績のデータを用いてモデルのキャリブレーションを行う．そして，数値シミュレーションにより，仮想的にある一定量の水資源を県間で再配分する政策が実施されるケースや，市場において水取引がなされるケースを想定し，長期的なGDPの成長や資本ストックの蓄積，また産業構造の変化について定量的に分析する予定である．望ましい水移転政策については，法学，土木工学，経済学，農学，環境工学等さまざまな視点から検討がなされている．本研究では市場メカニズムが到達可能な最も効率的な結果として，ひとつのベンチマークを提供することを目的とする．本稿では上記の目的のための多部門経済成長モデルを示すこととする．

*キーワーズ：計画基礎論，水資源，経済成長
**正会員　京都大学防災研究所　巨大災害研究センター
（〒611-0011　宇治市五ヶ庄
TEL 0774-38-4279, FAX 0774- 31-8294）
***早稲田大学大学院社会科学研究科
****ミネソタ大学応用経済学部

2. 多部門ラムゼー経済成長モデル

(1) 経済環境

小国開放経済を考える．対象国である日本を関東1，関東2と日本のその他の地域(The Rest of Japan (ROJ))の3地域に分割し，地域インデックス$i \in I = \{1,2,3\}$を用いて，それぞれ$i = 1,2,3$により表現する．本研究では関東地方における利根川水系の水分配を議論するため，水移転のシナリオに応じて関東地方を2地域に分けることとする．基本ケースでは関東1を東京，関東2を栃木，茨城，千葉，群馬，埼玉，神奈川の6県の集合に分割する．今後，さまざまな水移転シナリオに応じて地域を再分割する予定である．

関東1と関東2における生産部門を農業部門，製造業部門，サービス業部門，生活用水供給部門の4つに分類し，それぞれをインデックス$j \in J = \{a, m, s, \omega\}$により表現する．ROJ地域には農業部門，製造業部門，サービス業部門の3部門が存在すると仮定する．各時点tで，地域iで生産された部門jの最終消費財は価格$p_{ji}(t)$で取引されるとする．また，農業部門aと製造業部門mの財はそれぞれ生産地間で完全に代替的であると仮定する．さらに両部門の財は貿易可能であるとし，国内外の輸送に費用はかからないものと仮定する．したがって価格は世界価格p_a, p_mによって外生的に与えられることになる．また農業財と製造業財による国際貿易は毎期バランスしていなければならないものとする．一方，サービス業部門と生活用水供給部門が供給する財・サービスは，地域ごとに固有の性質をもつことによって効用関数において互いに不完全代替であるとし，さらに地域間の輸送や貿易が不可能であると仮定する．したがってサービス業部門と生活用水供給部門の市場は地域ごとに閉じており，各地域の価格

$p_{s1}(t)$,$p_{s2}(t)$,$p_{s3}(t)$,$p_{\omega 1}(t)$,$p_{\omega 2}(t)$が毎期，内生的に決まることになる．なお，本研究では関東地方の中での水移転に関心を集中するため，生活用水供給部門は関東地方のみに存在するものとする．また，本モデルでは各部門の生産の投入財としての水と，生活用水供給部門の産出物である生活用水を明確に区別する．前者を「水資源」ないし単純に「水」と呼び，後者を「生活用水」と呼ぶこととする．生活用水は中間投入には用いられず，家計の消費のみに用いられることになる．水の分配については，はじめは外生的に与えられるケースを想定し，後に市場取引で決まるケースについて考える．

また，農業財とサービス，水資源，生活用水は期を越えて保存することが不可能であり，ある期に供給された量をその期に消費しなければならないものと仮定する．唯一，製造業財のみが次期に持ち越すことができる財であり，よって貯蓄や投資は製造業財を用いて行われるものとする．資本市場は国内で閉じており，利子率$r(t)$は内生的に決まるものとする．代表的家計は毎期，労働市場に労働を供給して賃金を得ると同時に，資本市場に投資をして利子を得る．各家計は毎期，非弾力的に労働を供給するとし，その量を1に基準化する．よって経済全体の労働量の和は家計数に一致し，その量を$L(t)$により表す．家計の貯蓄は全て資本市場における投資に回る．労働市場と資本市場は完全に競争的であるとする．さらに家計は土地を保有し，農業部門における生産に提供して地代を得る．また水資源のレントも代表的家計の所得として還元されると仮定する．家計は完全な将来視野をもち，また経済に不確実性は存在しないものと仮定する．

(2) 生産技術

時点tに地域iの部門jで投入される労働と資本，水資源をそれぞれ$L_{ji}(t)$,$K_{ji}(t)$,$E_{ji}(t)$により表そう．また地域iに存在する土地をZ_iにより表す．土地Z_iは地域iの農業部門の生産でのみ用いられると仮定する．部門nの生産財が，地域iの部門jにおける中間財となるとき，その水準を$Y^{\circ}_{nji}(t)$により表すこととする．すなわち$Y^{\circ}_{nji}(t)$は部門nから部門jへの中間投入を表す．全ての企業は収穫一定の技術をもつと仮定する．地域3(ROJ)の集計的産出は次式のように表される．

$$Y_{a3} \le \min_{L_{a3},K_{a3},Y^{\circ}_{aa3},Y^{\circ}_{ma3},Y^{\circ}_{sa3}} \cdot \left\{F^{a3}(A(t)L_{a3},K_{a3},B(t)Z_3), \frac{Y^{\circ}_{aa3}}{\sigma_{aa3}},\frac{Y^{\circ}_{ma3}}{\sigma_{ma3}},\frac{Y^{\circ}_{sa3}}{\sigma_{sa3}}\right\} \tag{1}$$

$$Y_{j3} \le \min_{L_{j3},K_{j3},Y^{\circ}_{aj3},Y^{\circ}_{mj3},Y^{\circ}_{sj3}} \cdot \left\{F^{j3}(A(t)L_{j3},K_{j3}), \frac{Y^{\circ}_{aj3}}{\sigma_{aj3}},\frac{Y^{\circ}_{mj3}}{\sigma_{mj3}},\frac{Y^{\circ}_{sj3}}{\sigma_{sj3}}\right\} \quad (j=m,s) \tag{2}$$

また，地域1(関東1)と地域2(関東2)の集計的産出は次式のように表される．

$$Y_{ai} \le \min_{L_{ai},K_{ai},Y^{\circ}_{aai},Y^{\circ}_{mai},Y^{\circ}_{sai}} \cdot \left\{F^{ai}(A(t)L_{ai},K_{ai},B(t)Z_i,\Lambda(t)E_{ai}), \frac{Y^{\circ}_{aai}}{\sigma_{aai}},\frac{Y^{\circ}_{mai}}{\sigma_{mai}},\frac{Y^{\circ}_{sai}}{\sigma_{sai}}\right\} \quad (i=1,2) \tag{3}$$

$$Y_{ji} \le \min_{L_{ji},K_{ji},Y^{\circ}_{aji},Y^{\circ}_{mji},Y^{\circ}_{sji}} \cdot \left\{F^{ji}(A(t)L_{ji},K_{ji},\Lambda(t)E_{ji}), \frac{Y^{\circ}_{aji}}{\sigma_{aji}},\frac{Y^{\circ}_{mji}}{\sigma_{mji}},\frac{Y^{\circ}_{sji}}{\sigma_{sji}}\right\} \quad (j=m,s,\omega,\ i=1,2) \tag{4}$$

$A(t)$は外生的に与えられる労働の技術進歩，$B(t)$, $\Lambda(t)$はそれぞれ土地，水の利用効率に関する外生的技術進歩を表す．またσ_{nji}は，生産Y_{ji}における中間財の投入係数を表す．なお，本モデルでは，前述のように地域3における水の投入については明示的に扱わない．上式の$F^{ji}(\cdot)$を以下のように特定化する．

$$F^{a3}(A(t)L_{a3}(t),K_{a3}(t),B(t)Z_3) = \beta_{a3}\{A(t)L_{a3}(t)\}^{\alpha_{a13}}K_{a3}(t)^{\alpha_{a23}}\{B(t)Z_3\}^{\alpha_{a33}}$$
$$\beta_{a3}>0,\ 0\le\alpha_{ah3}\le 1,\ \sum_h \alpha_{ah3}=1 \tag{5}$$

$$F^{j3}(A(t)L_{j3}(t),K_{j3}(t)) = \beta_{j3}\{A(t)L_{j3}(t)\}^{\alpha_{j13}}K_{j3}(t)^{\alpha_{j23}} \quad (j=m,s)$$
$$\beta_{j3}>0,\ 0\le\alpha_{jh3}\le 1,\ \sum_h \alpha_{jh3}=1 \tag{6}$$

$$F^{ai}(A(t)L_{ai}(t),K_{ai}(t),B(t)Z_i,\Lambda(t)E_{ai}) = \{[\beta_{a1i}\{A(t)L_{ai}(t)\}^{\alpha_{a1i}}K_{a3}(t)^{\alpha_{a2i}}\{B(t)Z_3\}^{\alpha_{a3i}}]^{\kappa_{ai}} + [\beta_{a2i}\Lambda(t)E_{ai}]^{\kappa_{ai}}\}^{\frac{1}{\kappa_{ai}}} \quad (i=1,2)$$
$$\beta_{ah'i}>0,\ 0\le\alpha_{ahi}\le 1,\ \sum_h \alpha_{ahi}=1 \tag{7}$$

$$F^{ji}(A(t)L_{ji}(t),K_{ji}(t),\Lambda(t)E_{ji}) = \{[\beta_{j1i}\{A(t)L_{ji}(t)\}^{\alpha_{j1i}}K_{ji}(t)^{\alpha_{j2i}}]^{\kappa_{ji}} + [\beta_{j2i}\Lambda(t)E_{ji}]^{\kappa_{ji}}\}^{\frac{1}{\kappa_{ji}}} \quad (j=m,s,\omega,\ i=1,2)$$
$$\beta_{jh'i}>0,\ 0\le\alpha_{jhi}\le 1,\ \sum_h \alpha_{jhi}=1 \tag{8}$$

すなわち労働，資本，土地に関してはコブ＝ダグラ

ス型，水に関してはCES型を仮定する．

(3) 家計の問題

一家計あたりの地域i，部門jの財の消費水準を$q_{ji}(t)=Q_{ji}(t)/L(t)$により表そう．ただし農業財と製造業財については生産地に関して完全代替的であると仮定し，部門jの財の消費を$q_j(t)=\sum_i q_{ji}(t)$により表す．代表的一家計の時点tにおける消費ベクトルと瞬間的効用関数を以下のように定義する．ただし表記の煩雑さを避けるため，各$q_{j'}(t)$に関して(t)の表記を省略する．

$$\mathbf{q}:=(q_a,q_m,q_{s1},q_{s2},q_{s3},q_{\omega1},q_{\omega2}) \tag{9}$$

$$u(\mathbf{q}):=q_a^{b_a}q_m^{b_m}q_{s1}^{b_{s1}}q_{s2}^{b_{s2}}q_{s3}^{b_{s3}}q_{\omega1}^{b_{\omega1}}q_{\omega2}^{b_{\omega2}},\quad b_{j'}>0,\ \sum_{j'}b_{j'}=1 \tag{10}$$

また，各財の価格ベクトルを次式のように与える．

$$\mathbf{p}:=(p_a,p_m,p_{s1},p_{s2},p_{s3},p_{\omega1},p_{\omega2}) \tag{11}$$

価格$\mathbf{p}$の下で瞬間的効用水準qを達成するための最小費用を以下の支出関数により表す．

$$M(\mathbf{p},q):=\Xi(\mathbf{p})q=\min_{\mathbf{q}}\{\mathbf{p}\cdot\mathbf{q}:\ q\le u(\mathbf{q})\} \tag{12}$$

瞬間的効用関数を式(10)に示すようにコブ=ダグラス型に特定すると，支出関数$M(\cdot)$はqに関して線形で，$\mathbf{p}$に関して1次同次かつ凹になる．また，$M(\cdot)$にShephardのレンマを適用することにより各財の最適消費水準を導くことができる．生涯効用関数は各時点の効用水準の現在価値として次式のように表される．

$$U:=\int_0^\infty \log(q(t))\exp(n-\rho)tdt \tag{13}$$

ただし$\rho\ (>0)$は将来効用の割引率を表す．$n<\rho$を仮定する．上記のように各家計は自身の家系の規模が拡大していく効果を効用に含めるものと考える．

前述のように資本市場が閉じているため，家計の総資産は国内全部門の総資本に一致する．一家計あたりの資本ストックを$k(t):=K(t)/L(t)$により表すと，資本の形成過程は以下のように与えられる．

$$\dot{k}(t)=w(t)+k(t)\{r(t)-n\}+\sum_{i\in I}\tau_i(t)\tilde{B}Z_i+\sum_{i=1}^{2}\sum_{j\in J}v_{ji}(t)\tilde{\Lambda}E_{ji}-M(\mathbf{p}(t),q(t)) \tag{14}$$

ただし，$w(t)$は賃金率，$r(t)$は利子率，nは人口成長率，$\tau_i(t)$は地域iの1単位当たりの土地のレント，$\tilde{B}:=B(t)/L$，また$v_{ji}(t)$は地域iの部門jの1単位当たりの水のレントすなわち潜在価値(shadow value)，$\tilde{\Lambda}:=\Lambda(t)/L$である．既述したように水のレントは家計に還元されると仮定する．

家計は各期の価格ベクトル$\mathbf{p}(t)$，　要素価格$w(t),r(t),\tau_i(t),v_{ji}(t)$を与件として，瞬間的効用水準の流列$\{q(t)\}_{t\in[0,\infty)}$をコントロールすることにより，生涯効用関数を最大化する．すなわち，

$$\max_{\{q(t)\}}\quad 式(13)$$

$$\text{s.t.}\quad 式(14)$$

$$k(0)=\frac{K_0}{L(0)} \tag{15}$$

$$\lim_{t\to\infty}\left[k(t)\exp\left\{-\int_0^t(r(t')-n)dt'\right\}\right]\ge 0 \tag{16}$$

式(15)は一家計当たり初期資本ストックを表す．式(16)はチェーン・レター方式の借金を禁じるNo-Ponzi-Game条件を表している．最適化条件を導き，整理すると以下のEuler方程式を得る．

$$\frac{\dot{M}(t)}{M(t)}=r(t)-\rho \tag{17}$$

利子率$r(t)$がρよりも大きな水準から徐々に減少していくとき，家計支出の増加率も減少していく．横断性条件は以下のように表される．

$$\lim_{t\to\infty}[\lambda(t)k(t)]=0 \tag{18}$$

ただし$\lambda(t)$は資本ストックの潜在価値を表す．

一方，労働拡大的技術進歩がxの成長率で与えられ，$A(t)=\exp(xt)$が成立するとき，各変数$z(t)$を効率単位労働当たりの量$\hat{z}(t):=z(t)\exp(-xt)$として扱うと便利になる．以下，効率労働当たりの量として表す変数をハット"ˆ"をつけて表す．このとき予算制約式(13)とEuler方程式(17)は以下のように表される．

$$\dot{\hat{k}}(t)=\hat{w}(t)+\hat{k}(t)\{r(t)-n-x\}+\sum_{i\in I}\tau_i(t)\hat{B}Z_i+\sum_{i=1}^{2}\sum_{j\in J}v_{ji}(t)\hat{\Lambda}E_{ji}-\hat{M}(\mathbf{p}(t),q(t)) \tag{19}$$

$$\frac{\dot{\hat{M}}(t)}{\hat{M}(t)}=r(t)-\rho-x \tag{20}$$

ただし$\hat{k}(t):=k(t)e^{-xt}$,$\hat{w}(t):=w(t)e^{-xt}$,$\hat{B}(t):=\tilde{B}(t)e^{-xt}$,$\hat{\Lambda}(t):=\tilde{\Lambda}(t)e^{-xt}$,$\hat{M}(t):=M(t)e^{-xt}$である．また土地利用の技術$B(t)$や水利用の技術進歩$\Lambda(t)$も労働同様に$x$の率で成長する場合，$\hat{B}(t)=\hat{\Lambda}(t)=1$が成立する．本研究では以後この関係が成立しているものと仮定する．

3．市場均衡と農業部門，水のレント

(1) 地域ROJの製造業部門，サービス部門の費用関数

はじめに，水資源E_{ji}は各生産部門に対して外生的に与えられており，再配分は行われないケースを考える．このとき水E_{ji}は各部門における固定要素になる．

はじめに水を投入要素としてもたない地域ROJの費用関数を導く．本章では費用関数等の最適値関数を効率労働単位で表現する．そこで以下の集約形表現を用いることにする．$l_{ji} := L_{ji}/L$, $\hat{k}_{ji} := K_{ji}/(AL)$, $\tilde{Z}_i := BZ_i/(AL) = Z_i/L$, $\tilde{E}_{ji} := \Lambda E_{ji}/(AL) = E_{ji}/L$．式(2)(6)より，生産関数$F^{j3}(\cdot)$の1次同次性を考慮すると地域3(ROJ)の製造業部門とサービス業部門の効率労働単位当たりの費用関数は以下のように表される．

$$\tilde{C}^{j3}(\hat{w}, r^k, \mathbf{p}) := \left\{ C^{j3}\left(\hat{w}, r^k\right) + \sum_{n=a,m,s} \sigma_{n3j} p_{j3} \right\} \hat{y}_{j3}, \quad (j = m, s) \tag{21}$$

ただし

$$C^{j3}\left(\hat{w}, r^k\right)\hat{y}_{j3} := \min_{l_{j3}, \hat{k}_{j3}} \left\{ l_{j3}\hat{w} + r^k \hat{k}_{j3} :\ \hat{y}_{j3} \le f^j(l_{j3}, \hat{k}_{j3}) \right\} \quad (j = m, s) \tag{22}$$

ただし$r^k(t) = r(t) + \delta$，ここに$r(t)$は家計が受け取る利子率，δは資本の減耗率を表す．$r^k(t)$は資本の減耗率を含んだ利子率を表す．$C^{j3}\left(\hat{w}, r^k\right)\hat{y}_{j3}$は付加価値に相当する．$C^{j3}\left(\hat{w}, r^k\right)$は要素価格ベクトルに関して1次同次かつ凹であり，Shephardのレンマを満たす．

(2) 農業部門の土地，水の潜在価値

各地域，各部門の付加価値価格は以下のように与えられる．

$$p^v_{ji}\left(p_{si}\left(t\right)\right) := p_{ji}(t) - \sigma_{aji}p_a - \sigma_{mji}p_m - \sigma_{sji}p_{si}\left(t\right) \quad (j = a, m, s, \omega \quad i = 1, 2, 3) \tag{23}$$

農業財と製造業財の最終財価格p_a, p_mは地域間で等しくなるが，付加価値価格については各地域のサービス財を中間投入するため，異なった水準となる．式(1)(3)(5)(7)より，地域1,2において農業部門の土地と水に帰着するレントの和と，地域3における土地のレントは以下のように表される．

$$\Pi^{ai}\left(p^v_{ai}, \hat{w}, r^k, \tilde{Z}_i, \tilde{E}_{ai}\right) := \max_{l_{ai}, \hat{k}_{ai}} \left\{ p^v_{ai} F^{ai}\left(l_{ai}, \hat{k}_{ai}, \tilde{Z}_i, \tilde{E}_{ai}\right) - \hat{w}l_{ai} - r^k\hat{k}_{ai} \right\} \quad (i = 1, 2) \tag{24}$$

$$\Pi^{a3}\left(p^v_{a3}, \hat{w}, r^k, \tilde{Z}_3\right) := \max_{l_{a3}, \hat{k}_{a3}} \left\{ p^v_{a3} F^{a3}\left(l_{a3}, \hat{k}_{a3}, \tilde{Z}_3\right) - \hat{w}l_{a3} - r^k\hat{k}_{a3} \right\} \tag{25}$$

生産関数の1次同次性より，各Π^{ai}は$p^v_{ai}, \hat{w}, r^k$のついて凹であり，Hotellingのレンマを満足する．さらにΠ^{ai}は以下のように価格で構成された関数と固定要素で構成された関数に分解して表すことができる．

$$\Pi^{ai}(p^v_{ai}, \hat{w}, r^k, \tilde{Z}_i, \tilde{E}_{ai}) = \pi^{ai}\left(p^v_{ai}, \hat{w}, r^k\right)\Psi^i\left(\tilde{Z}_i, \tilde{E}_{ai}\right) \quad (i = 1, 2) \tag{26}$$

$$\Pi^{a3}\left(p^v_{a3}, \hat{w}, r^k, \tilde{Z}_3\right) = \pi^{a3}\left(p^v_{a3}, \hat{w}, r^k\right)\tilde{Z}_3 \tag{27}$$

土地と水の潜在価値は以下のように表される．

$$\tau_i = \pi^{ai}\left(p^v_{ai}, \hat{w}, r^k\right)\frac{\partial\Psi^i\left(\tilde{Z}_i, \tilde{E}_{ai}\right)}{\partial\tilde{Z}_i} \quad (i = 1, 2) \tag{28}$$

$$v_{ai} = \pi^{ai}\left(p^v_{ai}, \hat{w}, r^k\right)\frac{\partial\Psi^i\left(\tilde{Z}_i, \tilde{E}_{ai}\right)}{\partial\tilde{E}_{ai}} \quad (i = 1, 2) \tag{29}$$

$$\tau_3 = \pi^{a3}\left(p^v_{a3}, \hat{w}, r^k\right) \tag{30}$$

土地の貸借市場が完全競争的である場合，τ_iは地域iの土地の賃貸料に相当する．全ての付加価値を要素支払いに分配することにことによって次式が成立する．

$$p^v_{ai}\hat{y}_{ai} - \hat{w}l_{ai} - r^k\hat{k}_{ai} - \tau_i\tilde{Z}_i - v_{ai}\tilde{E}_{ai} = 0 \quad (i = 1, 2) \tag{31}$$

$$p^v_{a3}\hat{y}_{a3} - \hat{w}l_{a3} - r^k\hat{k}_{a3} - \tau_3\tilde{Z}_3 = 0 \tag{32}$$

(3) 製造業，サービス業部門，生活用水供給部門における水の潜在価値

地域1と地域2では製造業部門とサービス業部門，生活用水供給部門でも水を用いる．よってそれらの部門では水のレントが発生する．

$$\pi^{ji}(p^v_{ji}, \hat{w}, r^k)\tilde{E}_{ji} := \max_{l_{ji}, \hat{k}_{ji}} \left\{ p^v_{ji}F^{ji}\left(l_{ji}, \hat{k}_{ji}, \tilde{E}_{ji}\right) - \hat{w}l_{ji} - r^k\hat{k}_{ji} \right\} \quad (j = m, s, \omega,\ i = 1, 2) \tag{33}$$

各π^{ji}は$p^v_{ji}, \hat{w}, r^k$のついて凹であり，Hotellingのレンマを満足する．地域i,部門jの水の潜在価値は以下のように表される．

$$v_{ji} = \frac{\partial\{\pi^{ji}\left(p^v_{ji}, \hat{w}, r^k\right)\tilde{E}_{ji}\}}{\partial\tilde{E}_{ji}} = \pi^{ji}\left(p^v_{ji}, \hat{w}, r^k\right) \quad (j = m, s, \omega,\ i = 1, 2) \tag{34}$$

以上より，動学的予算制約式(22)は以下のように書き換えられる．

$$\dot{\hat{k}}\left(t\right) = \hat{w}(t) + \hat{k}(t)\{r(t) - n - x\}$$

$$
\begin{aligned}
&+\sum_{i=1}^{2}\pi^{ai}\left(p_{ai}^{v},\hat{w},r^{k}\right)\Psi^{i}\left(\tilde{Z}_{i},\tilde{E}_{ai}\right)\\
&+\pi^{a3}\left(p_{a3}^{v},\hat{w},r^{k}\right)\tilde{Z}_{3}\\
&+\sum_{i=1}^{2}\sum_{j\in J\backslash\{a\}}\pi^{ji}\left(p_{ji}^{v},\hat{w},r^{k}\right)\tilde{E}_{ji}\\
&-\hat{M}(\mathbf{p}(t),q(t))
\end{aligned}
\tag{35}
$$

(4) 各時点の市場均衡

本モデルの動学的一般均衡問題は異時点間の問題 (inter-temporal problem) と，各時点の問題 (intra-temporal problem) の組み合わせで構成される．異時点間の問題では，式 (22)(23) や初期条件，横断性条件により $\{\hat{k}(t),\hat{M}(t)\}_{t\in[0,\infty)}$ の流列が決まる．それに対して各時点の問題では，各期の $(\hat{k}(t),\hat{M}(t))$ を与件として，要素市場や生産物市場の価格や取引量が決定する．市場における各部門の要素投入に関しては，各部門の費用関数に Shephard のレンマを適用したり，レントを表す利潤関数に Hotelling のレンマを適用したりすることにより得ることができる．また固定要素をもつ部門に関しては，財の産出水準も利潤関数と Hotelling のレンマより得ることができる．また家計の各財の需要に関しても支出関数と Shephard のレンマより導出できる．したがって，その他の intra-temporal な需給均衡条件を用いて 9 つの内生変数 $(w,r^k,p_{s1},p_{s2},p_{s3},p_{\omega1},p_{\omega2},y_{m3},y_{s3})$ を決定する必要がある．地域 3 の部門 m,s のみが固定要素をもたないため，y_{m3},y_{s3} を Hotelling のレンマにより得ることができないことに留意されたい．以上の 9 つの未決定変数は，以下の 9 本の方程式により決定する．

i) 地域 3 の部門 m,s の完全競争によるゼロ利潤条件 (2 式)

$$
C^{j3}\left(\hat{w},r^{k}\right)=p_{j3}^{v}\left(p_{s3}\right)\quad(j=m,s)
\tag{36}
$$

ii) 労働市場のクリアリング（1 式）

$$
\begin{aligned}
&-\sum_{i=1,2}\left[\frac{\partial\pi^{ai}\left(p_{ai}^{v}\left(p_{si}\right),\hat{w},r^{k}\right)\Psi^{i}\left(\tilde{Z}_{i},\tilde{E}_{ai}\right)}{\partial\hat{w}}\right.\\
&\qquad\left.+\sum_{j=m,s,\omega}\frac{\partial\pi^{ji}\left(p_{ji}^{v}\left(p_{si}\right),\hat{w},r^{k}\right)\tilde{E}_{ji}}{\partial\hat{w}}\right]\\
&-\frac{\partial\pi^{a3}\left(p_{a3}^{v}\left(p_{s3}\right),\hat{w},r^{k}\right)\tilde{Z}_{3}}{\partial\hat{w}}\\
&+\sum_{j=m,s}\frac{\partial C^{j3}\left(\hat{w},r^{k}\right)\hat{y}_{j3}}{\partial\hat{w}}=1
\end{aligned}
\tag{37}
$$

iii) 資本市場のクリアリング（1 式）

$$
\begin{aligned}
&-\sum_{i=1,2}\left[\frac{\partial\pi^{ai}\left(p_{ai}^{v}\left(p_{si}\right),\hat{w},r^{k}\right)\Psi^{i}\left(\tilde{Z}_{i},\tilde{E}_{ai}\right)}{\partial r^{k}}\right.\\
&\qquad\left.+\sum_{j=m,s,\omega}\frac{\partial\pi^{ji}\left(p_{ji}^{v}\left(p_{si}\right),\hat{w},r^{k}\right)\tilde{E}_{ji}}{\partial r^{k}}\right]\\
&-\frac{\partial\pi^{a3}\left(p_{a3}^{v}\left(p_{s3}\right),\hat{w},r^{k}\right)\tilde{Z}_{3}}{\partial r^{k}}\\
&+\sum_{j=m,s}\frac{\partial C^{j3}\left(\hat{w},r^{k}\right)\hat{y}_{j3}}{\partial r^{k}}=\hat{k}
\end{aligned}
\tag{38}
$$

iv) 各地域のサービス市場のクリアリング（3 式）

$$
\begin{aligned}
&\frac{\partial\hat{M}}{\partial p_{si}}+\sigma_{sai}\frac{\partial\pi^{ai}(p_{ai}^{v},\hat{w},r^{k})\Psi^{i}(\tilde{Z}_{i},\tilde{E}_{ai})}{\partial p_{ai}^{v}}\\
&\qquad+\sum_{j=m,s,\omega}\sigma_{sji}\frac{\partial\pi^{ji}(p_{ji}^{v},\hat{w},r^{k})\tilde{E}_{ji}}{\partial p_{ji}^{v}}\\
&=\frac{\partial\pi^{si}(p_{si}^{v},\hat{w},r^{k})\tilde{E}_{si}}{\partial p_{si}^{v}}\quad(i=1,2)
\end{aligned}
\tag{39}
$$

$$
\begin{aligned}
&\frac{\partial\hat{M}}{\partial p_{s3}}+\sigma_{sa3}\frac{\partial\pi^{a3}\left(p_{a3}^{v},\hat{w},r^{k}\right)\tilde{Z}_{3}}{\partial p_{a3}^{v}}\\
&\qquad+\sum_{j=m,s}\sigma_{sj3}\hat{y}_{j3}=\hat{y}_{s3}
\end{aligned}
\tag{40}
$$

v) 地域 1,2 の生活用水市場のクリアリング（2 式）

$$
\frac{\partial\hat{M}}{\partial p_{\omega i}}=\frac{\partial\pi^{\omega i}\left(p_{\omega i}^{v},\hat{w},r^{k}\right)\tilde{E}_{\omega i}}{\partial p_{\omega i}^{v}}\quad(i=1,2)
\tag{41}
$$

また，本経済の動学は長い時間の後に定常状態に至る．定常状態は式 (22)(23) において $\dot{\hat{k}}=0,\dot{\hat{M}}(t)=0$ となる状態として定義される．すなわちそれは効率単位当たりの資本ストックや家計支出の成長率がゼロとなる状態を意味する．したがって一家計当たりないし経済全体の資本ストックは一定の率で成長する状態となる．

4. おわりに

本稿では水移転の長期的マクロ経済効果を分析するための多部門ラムゼー経済成長モデルを定式化した．発表時には，地域間産業連関表や水利用のデータを用いたモデルのキャリブレーションの結果と，いくつかの政策シナリオの下での数値シミュレーション結果を示す．なお，本モデルの修正の余地のひとつに，産業用水のリサイクルのプロセスの考慮がある．工場等では相当に高い率で回収水が用いられている．より詳細に実態を調べながらモデルを修正していく必要がある．モデルを精緻化した上で，種種の水移転シナリオの下での経済成長プロセスを記述

して，政策的示唆を導くことを目標とする．なお，本研究は農林水産政策科学研究委託事業「農水産分野の権利取引がもたらす経済厚生及び必要要件に関する理論的・実証的研究」（平成21年度－平成23年度，代表：堀口健治（早稲田大学））の一環として実施されている．当事業の研究推進委員会に深く感謝申し上げます．

参考文献

1) Barbier, Edward B.: Water and Economic Growth, *Economic Record*, 80(248):1-16, 2004.
2) Barro, Robert J., Xavier Sala-i-Martin: *Economic Growth*, Second Edition, Massachusetts Institute of Technology Press, 2004.
3) Chambers, Robert G.: *Applied Production Analysis, A Dual Approach*, Cambridge University Press, 1988.
4) Diao, Xinshen, Terry Roe, and Rachid Doukkali: Economy-wide Benefits from Establishing Water User-right Markets in A Spatially Heterogeneous Agricultural Economy, Working Paper, Department of Applied Economics, University of Minnesota, 2002.
5) Fang, Xiangming, Terry. L. Roe and Rodney B.W. Smith :Water Shortages, Water Allocation and Economic Growth: The Case of China, Working Paper, Department of Applied Economics, University of Minnesota, 2006.
6) Mulligan, C. and Xavier Sala-i-Martin "A Note on the Time-Elimination Method for Solving Recursive Dynamic Models," NBER Technical Working Paper No. 116, 1991.
7) Roe, Terry L., Rodney B.W. Smith, D. Sirin Saracoglu: *Multisector Growth Models: Theory and Application*, Springer, 2009.
8) 大川一司, 南亮進: 近代日本の経済発展,「長期経済統計」による分析, 東洋経済新報社, 1974.