

中国の地域間仮想水交易と水資源配分の公平性評価

大東文化大学・岡本信広*

国立環境研究所・岡寺智大

1. はじめに

経済活動に資源を必要とする以上、資源を提供する環境に負担を与える。大気と水はもっとも基本的な資源であり、これをいかに消費するか、は持続的経済成長においてももっとも基本的かつ喫緊の課題である。空間的に偏在している資源を、現世代だけでなく後の世代にどれだけ引き渡すことができるのか、空間的・時間的資源利用の公平性が考慮されなければならない。

環境効率性と環境公平性の議論がある（中村・森杉・井村 2003）。技術革新によって水消費を減らす、あるいは水資源を開拓することによって環境に対する効率性を増すことができる。しかし環境効率性を求めても資源消費をしていることには変わりはない。環境公平性は、空間的な時間的な消費格差をなくす、環境負担を均等化する議論である。資源豊富な地域から資源不足の地域に資源移転することによって環境公平性が成り立つ。また世代間においても資源豊富な時代に資源消費を抑え、資源不足時代の資源消費に控えるというのも時間軸における環境公平性であろう。

水は重要な生産要素の一つである。比較優位原則からすると、生産要素が豊富な製品を作って輸出し、比較劣位にある生産要素の財は輸入した方が厚生は増大する。水もまったく同じで、水豊富地域が水をよく使う産業の製品（農産物など）を水不足地域に輸出することによって厚生は増大するし、環境公平性にも配慮していることになる。

本稿は、空間的に水資源が偏っている中国において、地域間交易によってどれだけ環境公平性を実現しているかを計測する。具体的には仮想水貿易マトリックスを作成し、各地域の水資源量が地域間交易によって水不足地域に過度な水需要圧力がかかっているかどうかを確認する。これにより、水資源をどのように空間的に消費すべきかを考えることも可能になり、水資源管理にも知見を与えることとなる。

2. データとモデル

筆者らは、Non-survey の方法を用いて中国の 2007 年地域間産業連関表を推計しているので今回はそれを用いる¹。表形式は以下のとおり。

図 1 中国地域間産業連関表

Z^{11}	...	Z^{1r}	f^{11}	...	f^{1r}	e^1	x^1
$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
Z^{r1}	...	Z^{rr}	f^{r1}	...	f^{rr}	e^r	x^r
im^1	...	im^r	fm^1	...	fm^r		
v^1	...	v^r					
$(x^1)'$	...	$(x^r)'$					

¹ 表は岡本のブログ上 (<http://okmntnbhr.seesaa.net/article/275640838.html>) で公開されている。

各行列の定義は以下の通りである。

Z^{rr} , 中間取引量

f^{rr} , 最終需要 (列)

e^r , 輸出ベクトル (列)

x^r , 総産出ベクトル (列)

$(x^r)'$, 総産出 (行)

im^r , 中間財輸入ベクトル (行)

fm^r , 最終需要輸入ベクトル (行)

v^r , 付加価値ベクトル (行)

$r=1, 2, \dots, 31$ であり, 中国の 31 省を示す。この地域間産業連関表の特徴は, 海外貿易の輸入を非競争型としていることである。これにより地域間の取引は純粋な地域間取引を示している。

中国地域間産業連関表から各地域の仮想水を含めた水需要のマトリックスは, 消費型をベースにすると以下の形で計算できる。

$$\begin{pmatrix} WD^{1r} \\ \vdots \\ WD^{rr} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{d}^1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \hat{d}^r \end{pmatrix} \left\{ \begin{pmatrix} I & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & I \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} A^{11} & \dots & A^{1r} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{r1} & \dots & A^{rr} \end{pmatrix} \right\}^{-1} \begin{pmatrix} f^{1r} \\ \vdots \\ f^{rr} \end{pmatrix}$$

($r=1, 2, \dots, 31$)

WD のマトリックスが仮想水マトリックスとなる。ただし, これでは輸出に必要となった仮想水輸出, あるいは輸入財を輸入することによって輸入した仮想水が考慮されていない。そこで, 仮想水輸出は以下のように求める。

$$\begin{pmatrix} WD^{1e} \\ \vdots \\ WD^{re} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{d}^1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \hat{d}^r \end{pmatrix} \left\{ \begin{pmatrix} I & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & I \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} A^{11} & \dots & A^{1r} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{r1} & \dots & A^{rr} \end{pmatrix} \right\}^{-1} \begin{pmatrix} e^1 \\ \vdots \\ e^r \end{pmatrix}$$

次に, 国際貿易からの仮想水輸入は以下の式で求められる。

$$\begin{aligned} & (WD^{im1} \quad \dots \quad WD^{imr}) \\ &= \left\{ \begin{pmatrix} \hat{d}^1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \hat{d}^r \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{m}^1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \hat{m}^r \end{pmatrix} \left\{ \begin{pmatrix} I & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & I \end{pmatrix} \right. \right. \\ & \quad \left. \left. - \begin{pmatrix} A^{11} & \dots & A^{1r} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{r1} & \dots & A^{rr} \end{pmatrix} \right\}^{-1} \begin{pmatrix} \sum_r f^{1r} + e^1 \\ \vdots \\ \sum_r f^{rr} + e^r \end{pmatrix} \right\}' + (fm^1 \quad \dots \quad fm^r) \begin{pmatrix} \hat{d}^1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \hat{d}^r \end{pmatrix} \end{aligned}$$

右辺第 1 項は輸出と最終需要によって誘発される中間財輸入に内包される仮想水 (列ベクトルの転置ベクトル), そして右辺第 2 項は最終需要財に内包されている仮想水である。

ここで輸入係数

$$\hat{m}^r = \hat{im}^r (\hat{x}^r)^{-1}$$

を導入している。

式からも明らかなように、その他世界からの輸入の水使用量がわからないので、国内の水需要量をそのまま使用している。自国で代替する（Renault2003, Zhao et al. 2009）形となっている。輸入に内包されている仮想水は生産場所で本当に消費された水ではなく、それを国内で代替したときに自国でどれだけ仮想水を必要とするかを示している。国内で生産をしないで輸入で代替することによって節約された水が仮想水であるため、この仮定は仮想水の定義とも矛盾しない。

以上の計算によって輸出入という国際貿易を加味した地域間の仮想水マトリックスを推計することができる。なお、仮想水の地域内需要では、中国の水データでも述べるが、生活用水（ LW^r ）を足している²。

$WD^{11} + LW^1 \quad \dots \quad WD^{1,31}$ $\vdots$ $WD^{31,1} \quad \dots \quad WD^{31,31} + LW^{31}$	WD^{1e} $\vdots$ WD^{31e}
$WD^{im1} \quad \dots \quad WD^{im31}$	

3. 分析結果

3.1 水資源の偏り

各省の水資源と産業別水使用量を示したのが表1である。傾向として北部中国が水資源にプレッシャーがかかっていることがわかる。

表1 2007年水資源と水使用量（単位：億m³）

	水資源					水使用量							水収支	1人あたり水収支(m ²)
	水資源総量	地表水	地下水	蓄積量	1人あたり水資源量(m ²)	第1次産業	第2次産業	第3次産業	生活用水	合計	1人あたり水使用量(m ²)			
北京	24	6	19	3	148	12.0	6.5	5.0	14.5	38.0	23.3	-14	125	
天津	11	8	5	1	103	13.9	4.5	0.7	4.8	23.9	21.5	-13	82	
河北	120	39	107	26	173	153.6	26.3	3.1	23.6	206.5	29.7	-67	143	
山西	103	65	86	48	306	35.0	14.8	1.0	9.4	60.1	17.7	43	288	
内蒙古	296	183	207	94	1232	142.2	16.9	7.3	13.9	182.3	75.8	114	1156	
遼寧	262	232	93	64	611	93.3	25.4	4.1	24.0	146.7	34.1	115	577	
吉林	346	302	86	42	1269	68.4	19.8	2.5	11.5	102.2	37.4	244	1232	
黒龍江	492	374	233	115	1286	216.3	58.1	1.3	18.3	294.0	76.9	198	1209	
上海	35	28	10	3	188	16.4	82.6	2.8	21.6	123.5	66.5	-69	121	
江蘇	496	396	123	23	653	270.8	229.2	19.2	48.1	567.2	74.4	-72	579	
浙江	892	877	204	189	1777	101.9	67.9	15.4	33.7	218.9	43.3	673	1734	
安徽	712	666	182	135	1165	123.1	85.1	3.0	25.9	237.2	38.8	475	1127	
福建	1073	1072	312	311	3006	102.4	74.2	2.7	20.9	200.2	55.9	873	2950	
江西	1113	1084	310	291	2556	153.3	59.6	3.2	22.6	238.7	54.6	874	2502	
山東	387	280	198	91	415	162.4	26.1	5.0	32.0	225.5	24.1	162	380	
河南	465	349	203	87	496	124.0	53.0	6.8	32.1	215.9	23.1	249	473	
湖北	1015	984	283	252	1782	134.7	97.7	1.9	29.1	263.4	46.2	752	1736	
湖南	1427	1419	350	343	2247	196.2	84.2	5.8	43.7	332.8	52.4	1094	2185	
広東	1581	1572	406	397	1686	230.4	146.7	12.3	89.8	479.3	50.7	1102	1636	
広西	1386	1386	341	341	2922	214.2	49.7	7.9	47.8	319.6	67.0	1067	2855	
海南	284	281	70	67	3373	36.4	4.8	0.5	6.0	47.7	56.4	236	3317	
重慶	663	663	78	78	2358	20.3	41.8	1.7	17.1	80.9	28.7	582	2329	
四川	2300	2298	584	583	2823	122.5	60.4	4.1	33.6	220.6	27.1	2079	2785	
貴州	1055	1055	260	260	2806	50.8	32.2	1.8	16.6	101.4	26.9	953	2778	
雲南	2256	2256	795	795	5014	108.8	22.7	2.7	19.4	153.6	34.0	2102	4980	
チベット	4321	4321	966	966	152969	33.8	1.1	0.1	1.9	36.8	130.1	4284	152839	
陝西	377	350	137	109	1008	56.7	12.2	1.5	13.5	83.9	22.4	293	885	
甘肅	229	219	137	127	876	97.1	14.2	3.5	9.3	124.2	47.5	104	828	
青海	662	644	284	276	12029	20.9	7.3	0.4	3.2	31.7	57.5	630	11372	
寧夏	10	8	23	21	171	65.0	3.6	1.1	1.8	71.4	117.0	-61	54	
新疆	864	817	514	467	4168	477.7	9.4	21.0	11.1	519.2	247.8	345	3920	
平均	815	782	246	213	6826	118.0	46.4	4.8	22.6	191.9	55.1	623	727	
合計	25255	24242	7617	6604		3958	1440	149	701	5948		19307		

（出所）中国統計年鑑2008年版、水資源公報2008年版等より筆者作成。

² Feng et al. (2012)では、地域1の水需要にその地域内の Water Footprint を足しあげている。これは地域内住民の生活用水を指していると思われる。本研究もそれに従う。

3.2 仮想水マトリックス

仮想水マトリックスを省別マトリックスではなく、移出合計、移入合計として見やすく整理したのが表2である。

海外輸出を入れるとすべての省が仮想水の純移出地域になっている。そこで、ここでは仮想水の国内交易に焦点をあててみよう。仮想水の純移入地域と純移出地域を整理して、水豊富な地域であるにもかかわらず水の純移入地域、水不足地域であるにもかかわらず水移出地域を赤で示した。

	純移入地域	純移出地域
東北	遼寧, 吉林	黒竜江
北部沿海	北京, 天津, 河北, 山東	
東部沿海	江蘇, 上海, 浙江	
南部沿海	福建, 広東	海南
中部	山西, 河南	安徽, 江西, 湖北, 湖南
西北	陝西	甘肅, 青海, 寧夏, 新疆, 内モンゴル
西南	四川, 重慶	広西, 貴州, 雲南, チベット

工業化が進んでいる浙江、福建、広東は水が豊富であるにもかかわらず、仮想水の純移入地域になってしまっている。内陸工業地域の中心地、四川も同様だ。南方で水が豊富であるにもかかわらず、工業製品の移出、農業製品の移入を通じて仮想水純移入地域になってしまっている。

西北地域の、内モンゴルと寧夏は水がないにもかかわらず仮想水を輸出している。農産物を他地域に移出することによって、生態系に大きな負担を強いているといえよう。

3.3 効率と公平 (Discussion)

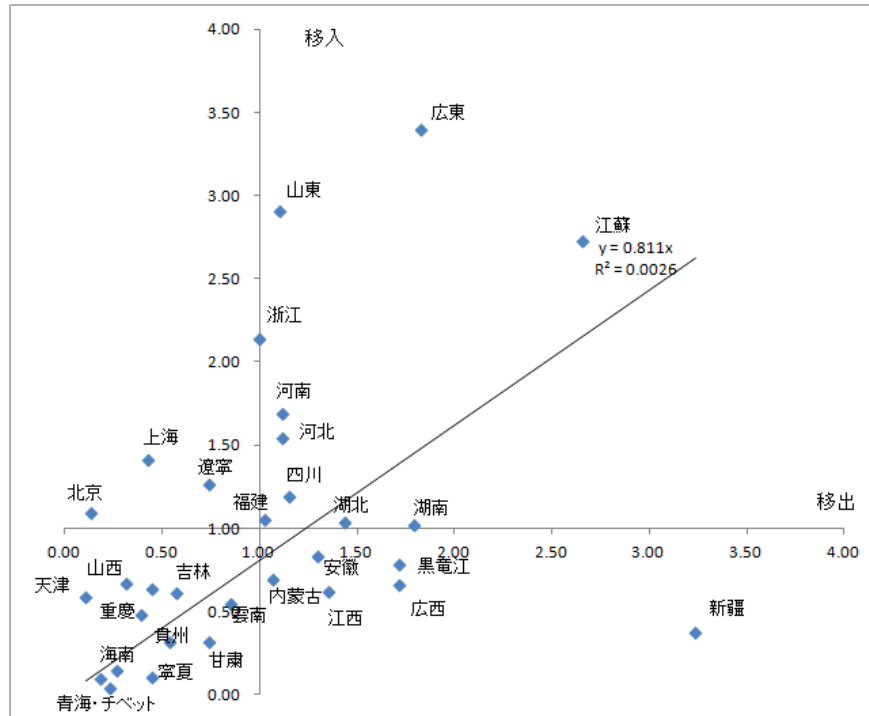
以上の分析結果をもとに、水負担と水使用に関する環境効率性と環境公平性を考えてみたい。

まず、仮想水の移出入を平均で割ったものをプロットしたものが図2である。この指標では、1以上では国内他地域と比べて移出入の競争力があるといえる。第1象限は仮想水の移出入が大きく、第2象限では移出が小さく移入が大きい。第3象限は仮想水移出入の競争力がない地域であり、第4象限では、移出が大きく移入が大きい。経済規模や財・サービス交易の大きな地域で数値は高めにでるが、各地域が傾き1の直線に近ければ、仮想水の移出入バランスがとれていることになる (Hoekstra, A. Y. and Hung, P. Q. 2002 の貢献度、依存度の概念に近い)。実際の傾きは0.811であり、移出競争力のばらつきが小さく、移入競争力のばらつきが多い。これは中国の各省の水資源の偏在により仮想水の移入が環境公平性に大きな影響を与えるといえる。

表 2 仮想水マトリックス (2007 年) (単位：億立方メートル)

	地域内水 需要	国内移出入			海外貿易			純移輸入
		仮想水移 出	仮想水移 入	仮想水純移 入	仮想水輸 出	仮想水輸 入	仮想水純 輸入	
北京	15	16	128	112	7	6	-1	111
天津	5	12	69	57	6	5	-2	55
河北	32	130	180	50	43	6	-36	5
山西	10	37	78	41	12	2	-10	30
内蒙古	17	125	81	-44	38	6	-32	-80
遼寧	29	87	148	61	31	7	-24	33
吉林	13	67	72	5	21	4	-17	-14
黒竜江	26	201	92	-109	65	10	-55	-171
上海	25	50	166	115	51	33	-18	94
江蘇	86	311	319	8	173	68	-105	-134
浙江	44	117	250	134	59	17	-43	81
安徽	31	152	97	-55	53	9	-44	-104
福建	26	120	124	4	54	13	-42	-43
江西	26	159	73	-86	52	8	-44	-134
山東	48	130	341	211	47	10	-37	159
河南	41	131	198	67	42	5	-37	21
湖北	36	168	122	-47	57	9	-48	-102
湖南	52	210	120	-90	68	9	-59	-158
広東	124	214	398	184	145	73	-72	78
広西	53	201	78	-123	63	10	-54	-182
海南	6	31	17	-14	10	3	-7	-22
重慶	18	46	57	11	16	3	-14	-4
四川	40	135	140	5	44	6	-38	-39
貴州	17	63	37	-25	20	3	-18	-44
雲南	22	100	64	-36	31	5	-26	-64
チベット	2	27	5	-22	8	1	-7	-29
陝西	15	52	75	22	16	2	-14	7
甘肅	11	87	37	-50	26	5	-21	-72
青海	3	22	11	-11	7	1	-6	-16
寧夏	2	53	12	-41	16	2	-14	-55
新疆	19	379	44	-336	116	17	-99	-443
	194	3632	3632	0	1401	358	-34	-40

図 2 仮想水の流れ



(出所) 筆者作成

4. おわりに

本稿では、環境公平性の観点から中国の地域間交易は各地域の水資源負担を公平にしているか検討を行った。各地域の最終財消費という視点から、地域間産業連関表を用いて消費型（Consumption based）で仮想水取引を推計した。得られた知見は以下の通りである。

- ①中国の水資源は、長江流域を一つの区切りとして中国の南側に偏在している。
- ②北京、天津、河北、そして江蘇、上海という華北、華東経済発展地域では水消費が多いために存在する水資源以上の水が消費されている。
- ③上記華北、華東地域は仮想水を移入することによって水資源負担をやわらげている。
- ④一方、広東や四川など水豊富な地域でも中国各地からの仮想水移入は大きく、中国の水資源に負担を与えている。
- ⑤水不足地域の寧夏、内モンゴルは仮想水を移出しており、同じく中国の水資源に負担を与えている。
- ⑥中国全土において仮想水純輸出は大きく、国際貿易は中国の水資源に負担を与えている。

これらの知見から、中国水資源管理における政策インプリケーションが得られる。地域間交易は華北、華東地域において水資源負担に貢献しているが、広東や四川、寧夏や内モンゴルにおいて水負担が不公平になっているため、水資源をもっとも消費する農業の空間的再配置が求められる。

<主な参考文献リスト>

- Guan, D., Hubacek, K., 2007. Assessment of regional trade and virtual water flows in China. *Ecological Economics*. 61, 159-170.
- Guan, D., Hubacek, K., 2008. A new and integrated hydro-economic accounting and analytical framework for water resources: A case study for North China. *Journal of Environmental Management*. 88, 1300-1313.
- Feng, K., Siu, Y.L., Guan, D. and Hubacek, K. (2012) Assessing regional virtual water flows and water footprints in the Yellow River Basin, China: A consumption based approach, *Applied Geography*, 32, 691-701
- Hoekstra, A.Y. and Hung, P.Q. (2002) *Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*. Value of Water Research Report Series No. 11. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands
- Su, B. and Ang, B.W. (2011) Multi-region input-output analysis of CO2 emission embodied in trade: The feedback effects, *Ecological Economics*, 71, 42-53
- Zhao, X., Chen, B., Yang, Z. F., 2009. National water footprint in an input-output framework - A case study of China 2002. *Ecological Modeling*. 220, 245-253.
- 岡本信広(2011)「中国の地域間産業連関モデルの構築：再検討」『応用地域学研究』第16号, pp.1-14
- 奥田隆明, 鈴木隆, 幡野貴之 (2005)「中国地域間産業連関表を用いた仮想水移動の二時点比較分析」, 『環境システム研究論文集』 Vol.33, pp.141-147
- 中村英佑, 森杉雅史, 井村秀文(2003)「国際的相互依存と環境公平性に関する研究」『環境システム研究論文集』 Vol. 31, 395-403
- 幡野貴之・奥田隆明 (2004)「省市レベルの地域間産業連関表を用いた中国国内の仮想水分析」『環境システム研究論文集』, Vol.32, pp1-10.
- 福石 幸生(2010)「日本の地域間における仮想的な水移動の特徴-水利用地域間産業連関表を利用して」『産業連関』環太平洋産業連関分析学会 18(3), 75-95