

都道府県間産業連関分析による農業農村整備事業および 小水力発電事業の波及効果計測のための WEB アプリケーション

上田達己* 國光洋二*

*地域資源工学研究領域資源評価ユニット

要 旨

農業土木事業投入調査などの統計資料から、農業農村整備事業 10 工種の建設段階、ならびに小水力発電事業（規模別に小水力、マイクロ水力の 2 工種に分類）の建設・運用各段階の投入構造を独自に推定し、既往の都道府県間産業連関表にあらかじめデータベースとして組み込むことにより、これら事業の様々な波及効果（生産誘発額、付加価値誘発額、雇用誘発者数、温室効果ガス排出量）を、都道府県レベルで簡便に計算することを主目的とする「経済波及効果・環境影響評価ツール」を開発したので、その理論的背景や具体的な利用手順、分析事例を報告する。本ツールによる分析事例として、小水力、マイクロ水力の単位発電量当りライフサイクル温室効果ガス排出量（北海道を事例とする）は、それぞれ、一般電力の 5%、14%と計測された。ユーザーは本ツールを活用することにより、事業工種や総事業費などわずかな情報を入力するだけで、各種の波及効果を計算することが可能となる。

キーワード: 産業連関分析, 公共事業, 再生可能エネルギー, 地域経済, 気候変動

1 緒 言

農業農村整備事業などの公共事業を実施する際に、ますます説明責任が問われている中、事業の経済的便益を定量的に評価し、広く開示していくことが重要になっている。本稿で扱う経済波及効果は、このような便益の一つであり、地域における公共事業の実施が、農業や建設業のみならず、広く経済全体の様々な産業に波及することを定量的に示すことの意義は大きい。

産業連関分析は、このような経済波及効果を計測する代表的な手法として広く活用されてきた。そのベースとなる産業連関表には、10 府省の共同事業として作成される全国表や都道府県庁によって作成される都道府県表など様々なレベルの表が存在する。なかでも、経済構造の異なる全国の各地方で、地域に根ざして実施される公共事業の波及効果を分析する際には、都道府県レベルの産業連関表を用いることでより精緻な分析が可能になると考えられる。

さらに、公共事業においても地球温暖化問題への対応が求められるなか、簡便な温室効果ガス（GHG）排出量の算出手法が求められている。GHG 排出量の算定手法としては、ライフサイクルアセスメント（LCA、本稿では積み上げ法のことをいう）に基づく手法がひろく知られている。これは、ある事業に投入されるすべての財の物量を計測し、それらに専用のデータベースで利用可能な排出原単位を乗じること等により、GHG 排出量を積算するものである。この手法を応用したツールとしては、例えば、橋本ら（2014）による土地改良事業を対象とした GHG 算定手法があるが、ここでは、施設の諸元（例えば

ダムの堤体積、有効貯水量など）を、ユーザー自身があらかじめ把握して入力することが必要であった。

これに対して、産業連関分析に基づく GHG 排出量の算定では、まず各種の投入財を金額ベースで勘定する（すなわち、1 円で購入できる財の物量を 1 単位（円価値単位）として財の物量を計測する）。次に、これらを産業連関表の部門ごとに再集計し、これらの財に対する追加的な需要が産業の各部門に及ぼす波及効果を産業連関モデルで計測し、それらの波及効果に各部門の GHG 排出係数を乗じることによって、GHG 排出量を推定する。この手法の利点は、産業連関表や同表の部門分類に即した GHG 排出係数（例えば、南斎，2013）が公表されており、誰でも容易に利用可能であること、また、産業連関分析では全ての産業部門への波及効果をもれなく計測するので、LCA では見落とす可能性のある細かな原材料供給元まで確実に遡って勘定できることが挙げられる。

他方で、この手法では、産業連関表の部門分類が LCA で通常行われる財の区分より粗く、個々の財の使用実態に基づく排出量を正確に捕捉しているわけではないことなどから、その分析精度が LCA に比べて劣るのではないかと指摘もある。この欠点を軽減する方法の一つとして、分析の対象となる産業部門の原材料・サービスの投入構造を詳細に明らかにした上で、既存の産業部門の代わりに分析に用いる手法があり、本研究でもこれを採用する。なお、この手法は、前述の経済波及効果を正確に計測する上でも有益である。

以上述べたように、産業連関分析は、経済波及効果と GHG 排出量を統合的に分析できる手法として有用と考えられる。他方で、産業連関表を用いて様々な波及効果を

計算するには一定の専門知識が必要であり、行政部局の実務担当者が簡単に組み立てるものではなかった。そこで、例えば、石川ら(1996)は、国土交通省のとりまとめた建設部門分析用産業連関表を用いて、公共(建設)事業の経済波及効果を分析できるツールを開発した。しかし、農業農村整備事業(建設段階)については、水利整備や圃場整備など、工種別に異なる投入構造(原材料・サービスの構成)を反映した分析を行えるツールは今までなかった。

そこで筆者らは、石川らの開発した都道府県間産業連関表(石川ら, 2004; 徳永ら, 2014)を基本資料として、さらに「産業連関構造調査(農業土木事業投入調査)」から推定した農業農村整備事業 10 工種の建設段階、ならびに小水力発電事業の建設・運用各段階の投入構造を推定してあらかじめデータベースとして組み込むことにより、これら事業の様々な波及効果(生産誘発額, 付加価値誘発額, 雇用誘発者数, 温室効果ガス排出量)を、都道府県レベルで簡便に計算することを主眼とした「経済波及効果・環境影響評価ツール」(以下, 本ツール)を開発したので報告する。本ツールは、WEB アプリケーションとして、2018 年 4 月からインターネットで公開する予定であり、ユーザーはこれを活用することにより、事業工種や総事業費などわずかな情報を入力するだけで、各種の波及効果を計算することが可能となる。

なお、上記のデータベースを活用して自動計算できるのは、農業農村整備事業 10 工種の建設段階および小水力発電事業についての波及効果のみであるが、本ツールでは、この他に、ユーザー自身が最終需要(波及効果の端緒となる需要)を産業部門ごとに与えることにより、例えば農業農村整備事業の事業完了後の施設運用段階など、様々な経済活動に基づく波及効果を計算することも可能な仕組みとなっている。

以下、2 章では、産業連関モデルを中心とした各種波及効果の算出方法の理論的背景を概観する。3 章では、農業農村整備事業に関するデータベースなど、本ツールに内蔵されているデータベース構築の手順について述べる。4 章では、本ツールの具体的な利用手順や留意点について解説する。5 章では、本ツールを用いた波及効果の解析事例を述べる。6 章は結論である。補論では、産業連関モデルの数学的な導出過程について論じる。本稿では、特に断らない限り、原則として行列をゴシック大文字で、ベクトルをゴシック小文字で表す。

2 本ツールの概要と理論的背景

2.1 概要

本ツールでは、おおむね次のような手順で分析が行われる(Fig. 1)。

- (1) ユーザーが当該事業の実施都道府県や総事業費(あるいは部門毎の内訳)などを入力
- (2) 地域間産業連関モデルにより、都道府県レベルで、部門ごとの生産誘発額(後方連関効果, 所得連関効果)および付加価値誘発額の算出

- (3) 雇用誘発者数の算出(生産誘発額×雇用誘発係数)
- (4) 温室効果ガス排出量の算出(生産誘発額×温室効果ガス排出係数)
- (5) (2)~(3)の結果を按分し、事業を実施する市町村内の経済波及効果を算出

以上より、手順(3)以降は、(2)の結果から派生的に求められることがわかる。したがって、手順(2)が本ツールの中核となるプロセスであり、その理論的背景を理解しておくことがまず重要である。そこで、続く 2.2~2.5 節では、まず産業連関モデルの理論的背景を詳述したのち、2.6 節以降で、手順(3), (4), (5)について述べる。

2.2 産業連関表

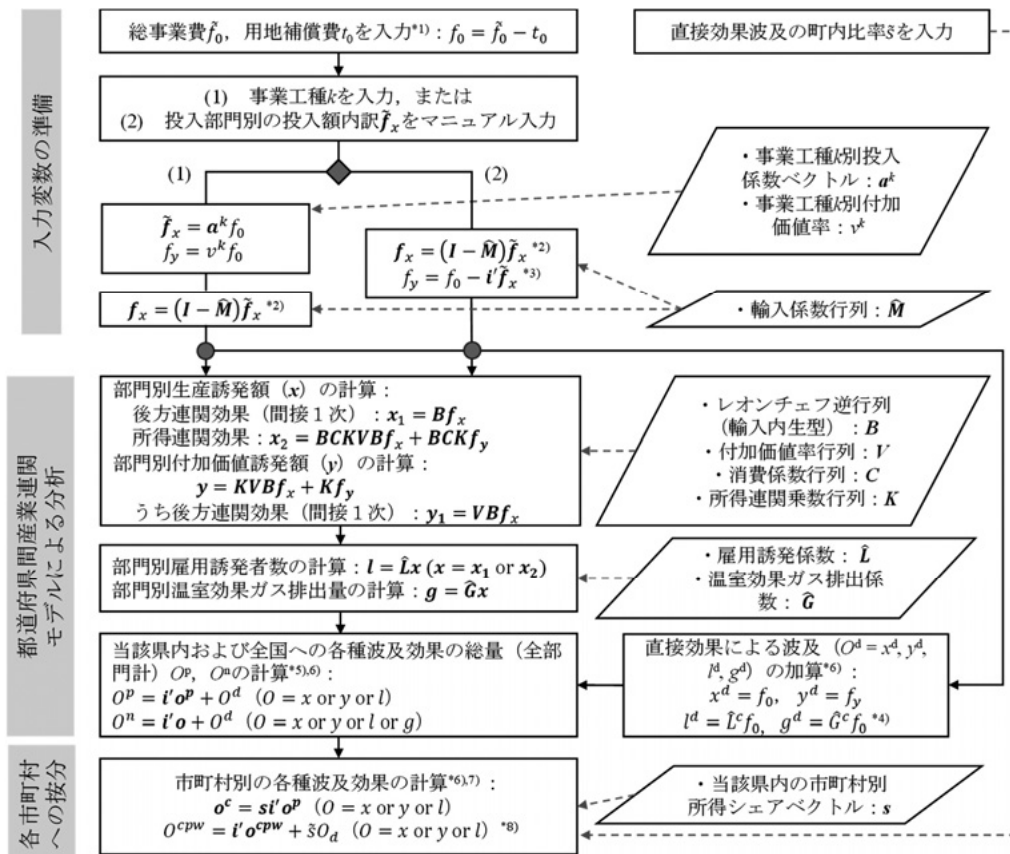
2.2.1 一地域産業連関表

産業連関表とは、ある地域の経済全体を複数の「産業部門」に区分けし、それら部門間の取引などを表形式に取りまとめたものであり、いわば経済全体の俯瞰図である。Fig. 2 に一地域(例えば国または都道府県)を対象とした産業連関表の概念図を示す。なお、都道府県など、国より小さい地域を対象とした表の場合、当該地域外からの財・サービスの購入または地域外への販売は、それぞれ「移入」「移出」とよばれ、産業連関表上では、国外との取引である輸出入と合わせて、それぞれ「移輸入」「移輸出」として包括されることがある。以下の説明では、簡単のため、これらを含め「輸入」「輸出」という言葉で代表している場合がある。また、簡単のため「都道府県」を「県」ということがある。

Fig. 2 において、表の中核をなす「中間取引(中間投入・中間需要)(内生部門ともいう)」が左上に、「最終需要」が右上に、「付加価値」が左下に配置される。表頭(表の上端行)に示す各部門を「需要部門」(買い手=財・サービスを需要(購入)する部門)といい、表側(表の左端列)に示す各部門を「投入部門」(売り手=財・サービスを投入(供給)する部門)という。

まず、表(Fig. 2)を縦(列)方向にみると、ある産業が財・サービスを生産するために必要な原材料・サービス・労働などの構成がわかる。公共(建設)事業を例にとると、あるダムを建造するには、コンクリートや鉄鋼などの原材料やそれらを運搬する運輸サービスなどの「中間投入」が必要であり、これらが各投入部門からの投入額として、「中間取引」ブロック **Z** (列方向)に示される。加えて、賃金や間接税の支払いが必要であり、これらが「付加価値」ブロック **V** に示される。それらの合計(列和)である「総生産額」**x** (公共(建設)事業の場合は総事業費から用地補償費を控除した額に相当)が下端行に示される。

次に、表(Fig. 2)を横(行)方向にみると、ある産業により生産された財・サービスの販売先の構成がわかる。水産物(漁業部門の生産財の一つ)を例にとると、例えば缶詰や冷凍食品などの原材料などとして、飲食料品部門へ販売される「中間需要」があり、これらが「中間取引」ブロック **Z** (行方向)に示される。また、消費者への



注:

*1) 建設事業以外の経済活動を対象とする場合は, $f_0 = 0$ と入力する。この場合, 直接効果 O^d の加算 (下記注 6) は実行されない。

*2) 建設事業の外生需要 (投入) f_x は, 簡単のため計算式には明示していないが, 既存の「土木」部門から「地域間投入割合係数」を求めて, この係数を投入県ごとに f_x に乗ずることにより求める。建設事業以外の経済活動については, 外生需要を全て事業実施県に置く。

*3) 外生所得 f_y は, 全て事業実施県で発生すると仮定する。 t' : 総和行ベクトル。

*4) 添え字 c は土木部門の係数 (代用して用いる)。

*5) o^p は各種波及効果ベクトルから, 当該事業を実施する県のみ抜粋したベクトル。

*6) 直接効果 O^d を加算するのは, 各項目の後方連関効果のみである。所得連関効果については, 直接効果分がすでに内包されているので, 加算しない。

*7) o^c は市町村別波及効果ベクトル (事業実施県内のみ), o^{cpw} はそのうち当該事業を実施する市町村のみ抜粋したベクトル, O^{cpw} は当該事業を実施する市町村への各種波及効果の総量。

*8) 直接効果波及 (建設事業の場合, 建設業務発注) の町内比率 s をユーザーが入力しない場合は, 直接効果は地域シェアを用いて (すなわち, $s O_d$) を加算する。なお, 建設事業以外の経済活動の場合は, 直接効果は x_1 に内包されているので, 直接効果相当分をこれから抽出し, s に乗じて各種の市町村内波及効果を求めたが, 煩雑になるため, ここでは計算式は省略する。

Fig. 1 経済波及効果・環境影響評価ツールの分析フローチャート

Flowchart of the economic and environmental appraisal tool

直接販売や海外への販売 (輸出) などは, 「最終需要」ブロック f に計上される。さらに, 輸入により国外から供給される分 m を控除し, 行方向に和をとったものが右端列の「総生産額」 x であり, これらは下端行の「総生産額」と一致する。

上記の例でみたように, 水産物は, 飲食料品部門にとっては原材料 (中間投入) のひとつであり, 逆に飲食料品部門は, 水産物 (漁業部門) にとって販売先 (中間需要) のひとつである。このように, 「中間取引」ブロック Z に示される産業部門間の各取引は, 投入・需要 (列・行方向) の二つの側面から解釈できる。

2.2.2 地域間産業連関表

前項で述べた産業連関表は, 一地域を対象にした表であったが, この表では複数の地域間の取引を詳細に分析することができない。そこで, 本ツールでは, 全国を 47 の都道府県に分割した「地域間 (都道府県間) 産業連関表」を用いる。地域間表を用いて分析を行うメリットは, A 県の産業から B 県の産業に生産波及が起これ, それがさらに A 県の産業の生産増加を誘発する, いわゆる「跳ね返り効果」を計測できることである。

本ツールで用いる「47 都道府県間産業連関表」は, 石川ら (2004) によって開発されたもので, 「非競争移入型 (アイサード型)」と呼ばれる「需要地域 (買い手地域)」と「投入地域 (売り手地域)」の双方を分割して取引額を集計した地域間表であり, ここでは, その 2005 年版を用いる。その概念図を Fig. 3 に示す。この表では,

		(需 要 部 門)			
		中間需要 部門1 部門2 … 部門 n			
(投 入 部 門)	部門1 部門2 : 部門 n 中間投入	行方向：販売先の構成			
		列方向：投入材の構成	中間取引 Z (内生部門)	最終需要 f (国内需要 f_d + 輸出 e)	輸入 $-m$ (控除)
			付加価値 V (雇用者所得, 利益, 間接税等)		
			総生産額 x		

Fig. 2 一地域を対象とした産業連関表の概念図
Schematic diagram of an input-output table for one region

(需 要 地 域)											
	A県			B県			C県				
(投 入 地 域)	A県	Z^{AA}	f^{AA}	$e^A\text{-}m^A$	Z^{AB}	f^{AB}	—	Z^{AC}	f^{AC}	—	x^A
		V^{AA}	—	—	V^{AB}	—	—	V^{AC}	—	—	—
	B県	Z^{BA}	f^{BA}	—	Z^{BB}	f^{BB}	$e^B\text{-}m^B$	Z^{BC}	f^{BC}	—	x^B
		V^{BA}	—	—	V^{BB}	—	—	V^{BC}	—	—	—
	C県	Z^{CA}	f^{CA}	—	Z^{CB}	f^{CB}	—	Z^{CC}	f^{CC}	$e^C\text{-}m^C$	x^C
		V^{CA}	—	—	V^{CA}	—	—	V^{CC}	—	—	—
		x^A	—	—	x^B	—	—	x^C	—	—	

Fig. 3 都道府県間産業連関表の概念図
Schematic diagram of an inter-prefectural input-output table

同じ産業部門が県ごとに分割・ブロック化されて表示される。すなわち、別の県に属する同一の産業は、別個の産業部門として扱われる。一地域表と同様に、表頭を示す各地域・部門を「需要地域」「需要部門」（買い手＝財・サービスを需要（購入）する地域・部門）といい、表側に示す各地域・部門を「投入地域」「投入部門」（売り手＝財・サービスを投入（供給）する地域・部門）という。

いま、例えば、A県にある缶詰工場が、B県の水産物を用いて缶詰を作った場合は、B県の漁業部門からA県の飲料食品部門への投入として Z^{BA} ブロックに計上され、C県の水産物を使った場合は、C県の漁業部門からA県の飲料

料品部門への投入として、 Z^{CA} ブロックに計上される。あるいは、A県の缶詰工場から出荷された缶詰をB県の消費者が購入した場合は、 f^{AB} に計上される。また、輸出 e はそれが生産された県へ、輸入 m はそれが需要される県に計上されることになっている。全ての県からの投入（列方向）、または全ての県への販売（行方向）を合計した「総生産額」 x が、それぞれ最下行、最右列に表示され、これらの額が部門ごとに必ず一致することは、一地域表と同様である。

石川ら（2004）の開発した都道府県間表は、内生部門が45に分割されているので、付加価値、最終需要等を除き内生部門のみカウントすると、それぞれの県別ブロッ

ク (Z') が 45 行×45 列からなる。さらに、本ツールでは、3.3 節で述べるように、この表に小水力発電の運用段階に関する 2 部門を追加した 47 部門からなる拡張表を作成する。したがって、47 都道府県からなる表全体では、 $(47 \times$

$47) \times (47 \times 47) = 2209$ 行×2209 列の行列から構成される。

Table 1 に、後ほど追加する小水力関連部門を含めた 47 の内生部門を示す。

2.3 生産誘発額（後方連関効果）

以上述べたように、それぞれの産業は経済的に独立して存在するのではなく、原材料などの仕入れや製品の販売を通じて、他の産業とつながっている。このような関係性があるので、ある産業の生産物に対する需要が増加したとき、その産業の生産増加が誘発されるのは当然であるが、その生産増加を支えるためには、その産業に投入される原材料・サービスの生産も合わせて増加されなければならない。このようなつながりによる生産誘発効果を「後方連関効果」という。

例えば、**Fig. 4** に示すように、いま水産物 1 単位の需要増加が生じたとする。すると、「水産物（漁業部門）」にただちに 1 単位の生産増加が波及する（いま、海外への漏出（輸入品への需要）は無視する）。これを「直接効果」という。さらに、水産物 1 単位の生産増加を支えるためには、「漁網（繊維工業製品）」を 0.011 単位、水産物を運搬するため「運輸サービス」を 0.036 単位...などと生産増加させる必要が出てくる。さらに、この漁網の生産増加を支えるために、「化学工業製品」や「電力」を生産増加させる必要がある...、といった具合に、生産誘発効果が次々と上流の原材料・サービス部門へと波及していく。これらを総括して、「間接一次効果」という。ただし、波及の回数を経るごとに、各産業の付加価値分だけ効果は減衰していくので、無限回の波及を経たのちの波及効果の合計は、一般に有限値に収束する。直接効果と間接一次効果の合計を「後方連関効果」という。

本ツールでは、(1)式の「輸入内生型地域間産業連関モデル」を用いて、後方連関効果を算出する。この式の導出過程は、補論 (A.1～A.3 節) で詳述する。

Table 1 47都道府県間産業連関表の内生部門
Interindustry sectors comprising the inter-prefectural input-output table

部門名	部門名
1 農業	25 自動車
2 林業	26 その他の輸送用機械
3 漁業	27 精密機械
4 鉱業	28 その他の製造業
5 食料品・たばこ	29 建築・建設補修
6 繊維製品	30 土木
7 製材・木製品	311 一般電力
8 家具・装備品	312 小水力
9 パルプ・紙・紙加工品	313 マイクロ水力
10 印刷・出版	32 ガス・熱供給
11 化学製品	33 水道・廃棄物処理
12 石油・石炭製品	34 商業
13 プラスチック製品	35 金融・保険
14 ゴム製品	36 不動産
15 皮革・同製品	37 運輸
16 窯業・土石製品	38 通信・放送
17 鉄鋼製品	39 公務
18 非鉄金属製品	40 教育・研究
19 金属製品	41 医療・保険・社会保障
20 一般機械	42 その他の公共サービス
21 事務用・サービス用製品	43 対事業所サービス
22 民生用電気機械	44 対個人サービス
23 電子・通信機械	45 その他
24 その他の電気機械	

注) 電力関連部門は、新規に拡張したので枝番となっている。

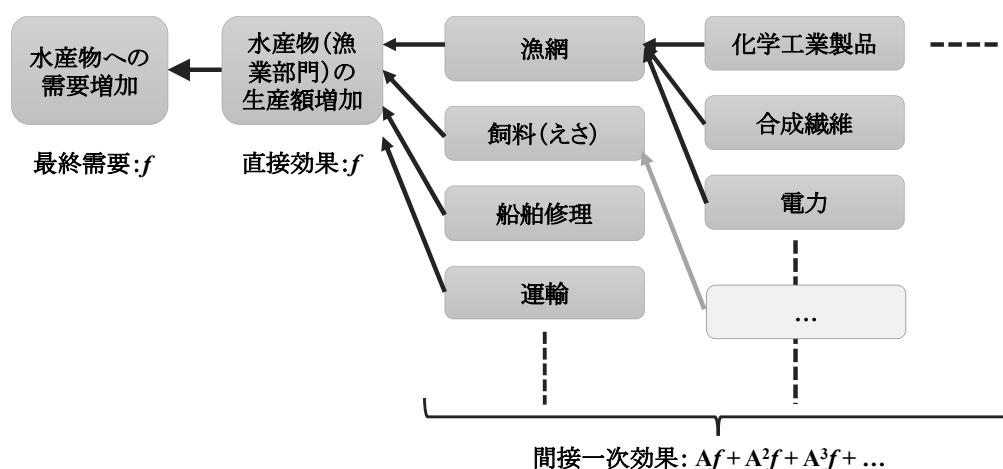


Fig. 4 後方連関効果の概念図
Schematic diagram of a backward linkage effect

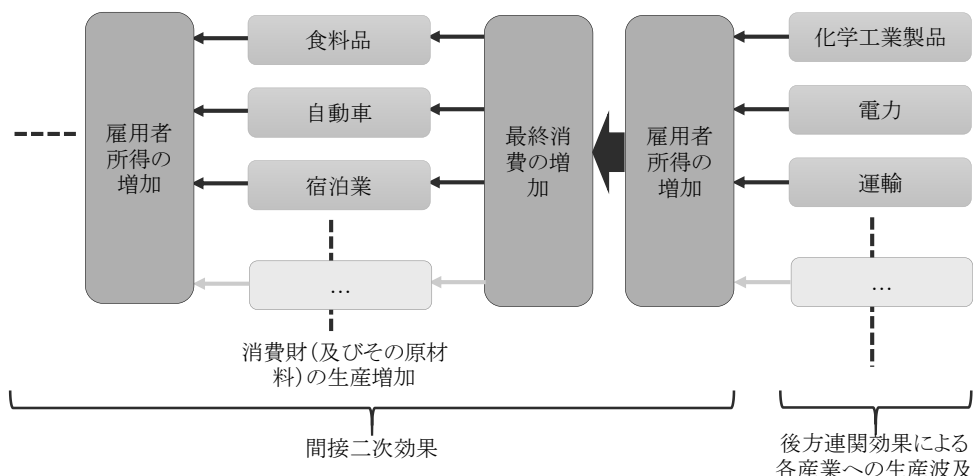


Fig. 5 所得連関効果の概念図
Schematic diagram of an income linkage effect

$$x_1 = [I - (A - \hat{M}A^*)]^{-1} [f_d - \hat{M}f^* + e] = Bf_x \quad (1)$$

x_1 : 後方連関効果による地域別総生産額ベクトル

I : 単位行列

A : 投入係数行列

\hat{M} : 輸入係数を要素とする対角行列

f_d : 地域別域内最終需要額の全国計ベクトル

e : 地域別輸出額ベクトル

A^* : 地域内投入係数を対角小行列とし非対角部分をゼロとする行列

f^* : 当該輸入品消費地域の地域内最終需要額ベクトル

$B = [I - (A - \hat{M}A^*)]^{-1}$: 輸入内生レオンチェフ逆行列

$f_x = f_d - \hat{M}f^* + e$: 外生最終需要額ベクトル

2.4 生産誘発額（所得連関効果）

前節のモデルは、家計の所得および消費を、それぞれ付加価値部門および最終需要部門のひとつとしてモデルの外部に置いていた。つまり、後方連関効果によって各産業の生産増加が誘発されると、各産業の雇用者所得も増加するわけだが、家計を組み入れていないこのモデルでは、それから先の波及は計測できないので、結局所得の増加は生産に全く影響しないと考えていることになる。

しかしながら、現実には、家計所得が増加すると、貯蓄に回す分を除いた一定の割合で家計消費が増加することが期待される（Fig. 5）。すると、その消費増加を満たすために、例えば自動車や旅行業など、各種消費財・サービスの生産が増加する。さらに、これら生産増加を支えるための原材料・サービスの生産増加が誘発される。さらに、これら各産業の生産増加により、再び家計所得が増加する。すると、以上述べた波及サイクルがもう一度繰り返される。このようなサイクルは無限回繰り返されるが、所得増加の一部は貯蓄に回され、波及回数を重ねるたびに効果は減衰していくので、一般に全ての波及効果の総計は有限値に収束する。

以上のような、所得・家計消費の増加を通じた波及効果を、「間接二次効果」または「所得連関効果」という。家計部門を内生化し、モデルの一部に組み込むことにより、所得連関効果を計測することができる。本ツールでは、宮沢（2002）による家計内生化モデル（(2)式）を用いる。この式の導出過程は、補論（A.4節）で詳述する。

$$x_2 = BCKVBf_x + BCKf_y \quad (2)$$

$$K = (I - VBC)^{-1}$$

x_2 : 所得連関効果による生産誘発額ベクトル

B : 輸入内生レオンチェフ逆行列

C : 各地域の単位付加価値あたりの各産業の生産物への消費支出を示す消費係数行列

V : 各産業の単位生産額あたりの各地域の粗付加価値を示す付加価値率行列

K : 所得波及の総効果を示す所得連関乗数行列

f_x : 外生最終需要額ベクトル

f_y : 外生家計所得ベクトル

2.5 付加価値誘発額

これまで述べた生産誘発額 x には、各産業において創出される付加価値額（Fig. 2 の V ）と各産業にとっては原材料コストである中間投入額（Fig. 2 の Z ）の両方が含まれていた。したがって、計測される生産誘発額は、中間投入額をいわば二重計上していることになる。

これに対して、一般に国内総生産（GDP）を計測するときには、中間投入の二重計上を控除して、付加価値額のみを積算する。産業連関分析においても同様に、ネットの経済波及効果といえる付加価値が、各地域にどれだけ分配されたかが知りたい場合がある。これは、(3)式で計測できる。その導出過程は、補論（A.4節）で詳述する。

$$y = KVBf_x + Kf_y \quad (3)$$

2.6 雇用誘発者数

2.3および2.4節で、それぞれ後方連関および所得連関による生産誘発額 x を計測した。ここで、「生産誘発額 x に比例して雇用が創出される」という比例関係を仮定すると、(4)式の通り、雇用誘発者数（生産誘発に伴って創出される雇用者数）が計測される。

$$l = \hat{L}x \quad (4)$$

l : 雇用誘発者数ベクトル

\hat{L} : 雇用誘発係数（人／百万円）からなる対角行列

x : 生産誘発額（後方連関または所得連関効果）ベクトル（百万円）

(4)式の雇用誘発係数は、各都道府県から公表されている「雇用表」に記載された、産業部門ごとの「従業者総数」をその部門の総生産額で除することによって求めた。したがって、計測される雇用誘発者数には、一般企業の雇用者に加えて、個人業主、家族従業者も含まれていることに留意されたい。また、各県の雇用表は、可能な限り2005年のデータを参照したが、それが欠落している場合は、近い年のデータを利用したり（4件）、またそれも欠落している場合は、経済構造の似ている隣のデータを流用したり（2件）したことがある。なお、3.3節で新設する小水力発電の運用部門の従業者総数は、「電力」部門の従業者総数を、雇用者所得比を用いて按分した。

2.7 建設事業の直接効果の加算

本ツールで、建設事業の実施にともなう生産誘発額を計測する場合、外生最終需要額ベクトル f は、当該建設事業に投入するコンクリートや鉄鋼などの中間投入財を部門ごとに与えている（Fig. 1）。したがって、(1)式は間接一次効果のみを計測していることになる。しかし、建設事業は、これらの中間投入財を用いて土木・建築施設という固定資本を産出するアクティビティであるから、後方連関効果の総額を求めるには、直接効果、すなわち「建設事業によって産出される土木施設等の価値」を別途加算する必要がある（宮沢，2002: 112）。この直接効果 x^d は、総事業費 f_0 （ただし所得移転である用地補償費は控除）に等しい。さらに、 x^d から派生する雇用誘発者数と温室効果ガス排出量（後述）については、既存の「土木」部門の雇用誘発係数および温室効果ガス排出係数を参照し、 f_0 に乗じて計測する（Fig. 1）。また、付加価値誘発額については、建設事業自身が生み出す直接の付加価値は、外生所得（ f_y ）に等しい（Fig. 1）。以上の直接効果相当分を、2.8節で経済全体への波及効果の総額を求める際に加算する。

2.8 経済全体への波及効果の総括

2.3～2.6節では、生産誘発額、付加価値誘発額、雇用誘発者数の計測手法を述べてきた。それぞれの節における計測結果（(1)～(4)式）は、各産業部門への波及効果を縦に並べた列ベクトルのかたちで出力される。一方で、行

政の現場などでは、これら結果を総括して、経済全体（全部門）への波及効果の総量を知りたいことが多い。

ここで、本ツールで用いた都道府県間モデルの特色は、算出された波及効果の列ベクトルが、各県・各部門に分かれた数値からなっていることである。したがって、経済全体の総量を求めるにあたって、「全国への波及効果の総計」と「当該県内のみへの波及効果」を区別して積算することができる。さらに、両者の差分として「他県への波及効果」が計測できる。

以上の積算を行なったのち、建設事業の場合は、自部門への直接効果による波及（2.7節）を加算する（後方連関効果のみ）。以上の手続きを、生産誘発額 x 、付加価値誘発額 y 、雇用誘発者数 l の3項目を「各種波及効果」 O として要約して示すと、(5)～(7)式の通りである。

$$O^p = \hat{I}' O^p + O^d = \sum_i o_i^p + O^d \quad (5)$$

$$O^n = \hat{I}' O + O^d = \sum_{i,p} o_i^p + O^d \quad (6)$$

$$O^{op} = O^n - O^p \quad (7)$$

O^p : 各種波及効果の当該県内の総量

O^n : 各種波及効果の国内（全県）の総量

O^{op} : 各種波及効果の当該県外（ただし国内）の総量

o^p : 各種波及効果の当該県内各部門のベクトル（47×1）

o : 各種波及効果の全県・各部門のベクトル（2209×1）
（(1)～(4)式の左辺に相当）

\hat{I} : 総和行ベクトル（各要素が全て1の行ベクトル）

o_i^p : p 県 i 部門への各種波及効果

O^d : 建設事業自身の直接効果による各種波及効果

本ツールの「生産誘発額」と「雇用誘発者数」については、後方連関効果（(1)式）、所得連関効果（(2)式）のそれぞれに基づいて計測した結果、およびそれらを足し合わせた合計（総波及効果）が出力される。一方、「付加価値誘発額」については、(3)式の計測結果に、すでに後方連関・所得連関双方の効果が包含されていることから、後方連関効果による付加価値誘発額を別途計算し、それと(3)式との差分を所得連関による付加価値誘発額とする（補論 A.4.2 項参照）。

さらに、(5)～(7)式を、当初に与えた最終需要（投資）の総額で除したものを「乗数効果」と呼ぶ。これは、「最終需要（投資）1単位あたりの波及効果」を意味しており、合わせて出力される。

2.9 市町村レベルでの経済波及効果の推定

前節までに解説した手法によって計測される様々な経済波及効果は、都道府県間産業連関表をベースに求めているため、事業を実施する当該県内への波及と県外へ漏出する波及を区別することはできるが、都道府県より狭い地域レベルでの波及の分布を知ることはできない。そこで、本ツールでは、大平ら（2000）の「地域シェア法」を参考に、事業を実施する当該市町村内への波及を区別することを試みる（Kunimitsu et al., 2016）。

大平ら(2000)は、各市町村の各産業部門の生産額を当該県内の各産業部門の生産額でそれぞれ除した値を「地域シェア」と定義し、この比率をもって、県全域への生産誘発額を、県内の各市町村へ按分することを提案した。しかしながら、全国の全ての市町村にわたって産業部門別の生産額データを入手することは困難なため、本ツールでは、代理変数として「市町村内総所得」を「県内総所得」で除した値を「地域シェア(s)」と定義し、この比率をもって、同様の按分を行うことにした。ここで、各市町村の総所得額は、原則として2009年のデータを使用した。

本ツールでこのような市町村レベルへの按分を行うのは、生産誘発額、付加価値誘発額、および雇用誘発者数(いずれも全産業部門の合計)の3項目である。なお、県内各市町村への波及を全て区別して網羅的に出力するのではなく、「当該事業を行う市町村」と「それ以外の県内市町村」の2つに区別した計算結果のみを出力する(Fig. 1)。

ここで注意すべきは、本ツールでは、部門を区別しない域内総所得で地域シェアを求めたため、当該県内の各市町村の産業構造の違いが、出力される市町村レベルの波及効果の按分には反映されないことである。そこで、そのような按分に最も大きく影響すると考えられる「初期投資(直接効果)波及の当該市町村内比率」、すなわち「初期投資(建設事業の場合は、用地補償費を除く総事業費)のうち、どれくらいの割合が当該市町村へ波及するか(発注されるか)」が具体的にわかっている場合には、その数値をユーザーが別途与えて、生産誘発額等の出力結果に反映できるようにしている(Fig. 1)。例えば、公共事業(建設段階)において、事業実施主体が当該市町村内にのみ所在する場合は、この値を1として良い。

2.10 温室効果ガス排出量

2.6節で述べた雇用誘発者数と同様に、「生産誘発額 x に比例して温室効果ガス(GHG)が排出される」という比例関係を仮定すると、(8)式の通り、温室効果ガス排出量が計測される。

$$g = \hat{G}x \quad (8)$$

g : 各部門のGHG排出量ベクトル(t-CO₂eq),

\hat{G} : GHG排出係数(t-CO₂eq/百万円)からなる対角行列

GHG排出係数(直接排出係数)は、南斎(2013)のデータを部門統合することにより求めた。ただし、3.3節で新設する小水力発電の運用部門については、それら部門の投入係数から推測される化石燃料消費量から計測した。ここで、GHG排出係数とは、当該産業部門の1単位の生産活動により「直接的に」排出されるGHGを表す。したがって、この直接排出に加えて、その産業部門に投入される原材料・サービスの生産活動に伴う「間接排出」を含めて計測するには、(8)式に示すように、まず自部門・

他部門への生産誘発額 x を計測してから、各部門への波及額にそれぞれのGHG排出係数を乗じる必要がある。

いま、農業部門を例にとると、トラクター等の燃料消費に伴うCO₂排出や水田土壌からのメタン排出などが「直接排出」に含まれる。これは、生産誘発額ベクトル x (後方連関効果)に含まれている自部門(農業部門)への波及額に農業部門のGHG排出係数を乗じることで計測される。さらに、農業部門に投入される化学肥料、農薬、農業機械などの製造過程において間接的に排出されるGHG(後方連関効果による間接排出)については、生産誘発額ベクトル x (後方連関効果)に含まれている農業以外の他部門への波及額に各部門のGHG排出係数を乗じることで計測される。

以上により、(8)式で求められるGHG排出量ベクトル g の各要素を全部門にわたって合計すれば、農業部門の生産増加に伴う直接・間接GHG排出量の総計が求められることがわかる。ただし、建設事業については、(8)式は間接排出量のみ計測しているので(2.7節参照)、「土木」部門の排出係数を参照して、建設事業自身による直接排出量を別途加算する(Fig. 1)。

以上求められたGHG排出量については、県ないし市町村の地域別積算値は示さず、全国の積算値(すなわち、(8)式を(6)式に代入した時の値)のみ出力する。

この値が、積み上げ法による標準的なライフサイクルアセスメント(LCA)で計測されるGHG排出量の概念に相当する。ただし、具体的な計測値については、手法の違いなどにより、産業連関分析とLCAの間で一般的に異なる。特に、本ツールでは輸入内生モデルを用いているため、一般のLCAと異なり、輸入品の生産に伴って国外で排出されるGHGは控除されていることに注意が必要である。

さらに、産業連関分析では、所得連関効果によるGHG排出量も、同様に(8)式で計測できるが、これは、2.4節で述べたように、家計部門の消費増加から消費財の生産増加へと波及する経済全体の生産活動によるGHG排出量を計測したもので、LCAには相当する概念がない、産業連関モデル独自の分析である。

3 本ツールに内蔵するデータベースの構築

3.1 農業農村整備事業(建設段階)に関する投入構造の推定

1章で述べたように、本ツールは、ユーザーが当該事業に投入する原材料・サービスの具体的な構成比が分かっている場合でも、事業工種や総事業費などわずかな情報を入力するだけで、簡便に各種の波及効果を計算できるようにすることを目的としている。それを可能とするために、筆者らは、2012年10~11月に実施された「平成23年産業連関構造調査(農業土木事業投入調査)」のデータを用い、これから農業農村整備事業(建設段階)を構成する10工種各々の投入構造を推定し、データベースとしてあらかじめツールに内蔵した。その具体的方法を以下に述べる。

農業土木事業投入調査は、2011年産業連関表の作成に必要な資料を得るために実施された基礎調査の一つである。したがって、厳密に言うと、本調査の基準年（2011年）と都道府県間産業連関表ほかの資料の基準年（2005年）とにはギャップがある。しかし、農業農村整備事業の投入構造は、当該期間は安定的であったとみなし、本調査から得られた投入係数の補正は行わない。ここでは、同調査の対象となった640事業のうち、資料が貸与された638事業（うち国営事業250、都道府県営事業195、団体営事業195）を対象とした。

第一に、これらの事業を、10の工種、すなわち「水路工（開水路）」「水路工（管水路）」「水路工（トンネル・暗渠・その他）」「ポンプ場（機械設備）」「ポンプ場（建屋）」「取水施設」「貯水施設」「ため池」「農地整備・農地保全・農地防災」「その他」に分類する。第二に、同調査の調査様式に記載された各種の工事費細目を、都道府県間産業連関表を構成する45の内生部門および付加価値部門へ産業格付けし、部門ごとの投入額を集計する。第三に、これらの額を、さらに上記の10工種ごとに集計する。以上により、10工種の投入額表が得られ、これらをそれぞれの工種の総生産額で除することにより、農業農村整備事業（建設段階）に関する工種別の投入係数（Fig. 1の α^k, ν^k ）が得られる。

3.2 小水力発電（建設段階）に関する投入構造の推定

前節で述べた農業農村整備事業に加えて、本ツールでは、近年農業水利施設を用いて実施される地区が増加している小水力発電事業の各種波及効果が簡便に推計できるよう、投入構造の推定を行う。ここで、「小水力」「マイクロ水力」は、それぞれ出力規模が1千～3万kW、1千kW未満の水力発電施設と定義する。（なお、「小水力」と「マイクロ水力」を合わせて「小水力発電」ということがある。）また、小水力、マイクロ水力以外の電力部門（火力、原子力、大規模水力、送配電部門等を含む）を「一般電力」と定義する。

まず、小水力発電を含む電力施設の建設段階について、一般電力、小水力、マイクロ水力の電力施設建設事業の投入係数を、2005年全国産業連関表「電力施設建設」部門を参照して以下のように推定する（上田ら、2017）。（なお、同部門には、火力など水力以外の施設建設も含まれるが、より細かい部門分類がないので、同部門が大規模水力発電施設の建設事業の投入構造を代表していると仮定する。）

まず、水力発電施設の規模が小さくなるほど、既存の土木施設（ダム等）に発電施設のみを付加する事業計画が多くなり、また水車・発電機などの設備が割高となるので、総建設費のうち電気・機械設備の費用割合が高まることが知られている。そこで、2005年全国表の「電力施設建設」部門への電気・機械関連部門からの投入割合が9%であるのに対して、「建設（小水力）」「同（マイクロ水力）」では、全国小水力利用推進協議会（2014）に基づき、同割合はそれぞれ21%、59%であると仮定する。この割合にしたがい、「電力施設建設」の投入係数を基

準として、「建設（小水力）」「同（マイクロ水力）」への電気・機械関連各部門からの投入係数を増加させ、残りの内生部門からの投入係数を減少させる。付加価値部門の係数は変わらないとする。「建設（一般電力）」については、全国表「電力施設建設」の係数をそのまま用いる。

以上、前節および本節で述べた建設事業13工種の投入係数を、あらかじめデータベースとして本ツールに組み込むことにより、Fig. 1のフローチャートに示すように、ユーザーが総事業費と工種のみを入力することを選択した場合にも、簡便に各種の波及効果が計算できるような仕組みを構築した。

3.3 小水力発電（運用）部門の新設および産業連関表の拡張

次に、小水力発電施設の建設事業完了後の運用段階での各種波及効果が簡便に推計できるよう、都道府県間産業連関表の拡張を行う。すなわち、都道府県間表の「電力」部門から「小水力」「マイクロ水力」の2部門を分割・新設する（上田ら、2017）。

第一に、『未利用落差発電包蔵水力調査』（新エネルギー財団、2009）に記載された1,609地点のうち、3万kW未満かつ必要な諸元が開示されている1,602地点の出力（kW）などの諸元データを取得する。未開発地点を含むこれら地点の全てにおいて発電施設が建設され、発電が行われると仮定して、47都道府県ごとの発電ポテンシャルを集計する。ただし、このような集計を行なったところ、茨城、栃木、千葉、石川、京都、大阪、和歌山、香川、高知、佐賀、長崎、沖縄の各府県においては、1千～3万kWの「小水力」のポテンシャルが存在しないため、総生産額がゼロとなり、本ツールでは波及効果が計算できないが、一方で、1千kW未満の「マイクロ水力」は、全都道府県にポテンシャルが存在するので、いずれの県においても波及効果の計算が可能である。したがって、上記の県については、「小水力」の波及効果を求めたい場合は、「マイクロ水力」で代用する。

第二に、発電した電力量は、「再生可能エネルギー固定価格買取制度」で定められた、各地点の出力に応じた売電価格（2016年度現在）（Table 2）で売電されると仮定し、各地点の売上額の県内合計を「小水力」「マイクロ水力」部門それぞれの各県の総生産額とする。

第三に、「コスト等検証委員会」の『発電コスト試算シート』（エネルギー・環境会議、2012）を援用して、各地点の発電費用の内訳を個々に推算する。推算条件は、基本的に同委員会の「12,000kW」「200kW」の各モデルケースの条件に基づき一部修正したものを、それぞれ「小水力」「マイクロ水力」に適用する（Table 2）。ただし、以下の2項目について、同委員会の条件ではなく独自の仮定を用いる。

まず、本研究では未開発地点も含めて水力開発を行うとしたので、特に発電規模の小さい地点では建設費用が総じて大きくなると想定される。したがって、建設費用については、農業用ダム・用水路を対象とした小水力発

電の可能性調査（後藤ら，2012）のデータに基づき，1,500 kW 未満の地点については(9)式により，1,500 kW 以上では85万円/kW（同委員会の条件）で一定として求める。

$$y = -317.8 \ln(x) + 3199.3 \quad (9)$$

y: 建設単価（千円/kW）

x: 最大出力（kW）

さらに，設備利用率についても，各地点の種類別（農業用ダム，上水道など8種類）に応じた条件（55～90%）を，新エネルギー財団（2009）より引用し地点毎に与える。

第四に，上記で推計した各費用項目のうち，修繕費は各種製造業と建設業へ，水利利用料・諸費・一般管理費の計は，内生部門の残り在家計外消費支出に格付けする。ここで，それぞれの詳細な部門の内訳比は，2005年全国産業連関表「水力・その他の事業用発電」部門に準ずると仮定として按分する。残りの費用項目（雇用者所得，税など）は，それぞれ該当する付加価値部門へ格付けする。以上を47都道府県ごとに集計し，各県の投入額ベクトル（全国計）とする。さらに，これらベクトルを，都道府県間表の「電力」部門を参照して，各投入地域に按分する。以上により，都道府県間表に挿入する投入額列ベクトルが完成する。

第五に，生産した電力の産出部門の内訳比は，既存の「電力」部門と同じと仮定する。これにより，地域間表に挿入する産出額行ベクトルが完成する。

最後に，投入・産出ベクトルとも，既存の「電力」部門と「小水力」「マイクロ水力」2部門の合計の差分を「一般電力」部門とする。以上作成した「一般電力」「小水力」「マイクロ水力」の3部門を既存の「電力」部門に置き換えて，47部門47都道府県からなる拡張都道府県間産業連関表が完成する。

4 本ツールの利用手順

4.1 データの入力

本章では，本ツールの具体的な利用手順と，データ入力にあたっての留意点を記述する。ユーザーによるデータ入力のためのフローチャートを，Fig. 6に示す。なお，以下の記述は，2018年3月時点での情報であり，予告なく変更する場合がある。

まず本ツールのウェブサイト（<http://kinohyoka.jp>）にアクセスし，メニューから「経済波及効果・環境影響評価ツール」を選択する。以下，ステップを追って説明する。

Step 1: 最初に「事業実施都道府県」の選択は必須である。本ツールは都道府県間産業連関表を用いた分析を行うため，分析は都道府県単位で行われる。そのため，もし当該事業が複数の都道府県にまたがる場合は，あらかじめユーザー自身が，以下のStepで入力する「総事業費」や「中間投入額」を当該県の間で適宜按分して，当該県毎に分析を繰り返す必要がある。

Step 2: (2-1) 建設事業（農業農村整備事業の建設段階や発電施設の建設事業など）を分析する場合，「総事業費」および「用地補償費（総事業費の内数）」を入力する。これにより，2.7節で述べた「直接効果の加算」が自動的に行われる。なお，総事業費の内数である用地補償費は，所得移転のため，生産誘発効果を生じないので，以降の計算過程からは自動的に控除される。次に，Step 3またはStep 4-1のいずれかを選択して進む。

(2-2) 建設事業以外の経済活動（小水力発電事業の運用段階など）を分析する場合，総事業費をゼロと入力（または空欄に）する。この場合，直接効果は後方連関効果の計算結果にすでに内包されているので，別途加算されない。次に，Step 4-2へ進む。

Step 3: 農業農村整備事業（建設段階）または小水力発電施設の建設事業の波及効果を，本ツールに内蔵されている13工種の投入係数データベースを用いて計算する場合は，分析したい事業に最も近い工種を「事業種別」の

Table 2 小水力発電運用費用の算定条件

Conditions for estimating operational costs of small hydropower

単位		小水力	マイクロ水力
出力	kW	1,000～30,000	1,000 未満
売電単価(税別)	円/kWh	24	34 (<200 kW) 29 (200～1000 kW)
割引率	%	3	同左
固定資産税率	%	1.4	同左
稼働年数		40	同左
法定耐用年数		22	同左
建設費	万円/kW	(9)式(<1500 kW) 85 (≥1500 kW)	(9)式参照
水利利用料	万円/年	997	26
直接費(人件費)	万円/年	2000	700
直接費(修繕費)	対建設費%	0.5	1
直接費(諸費)	対建設費%	0.2	2
一般管理費	対直接費%	14.3	14

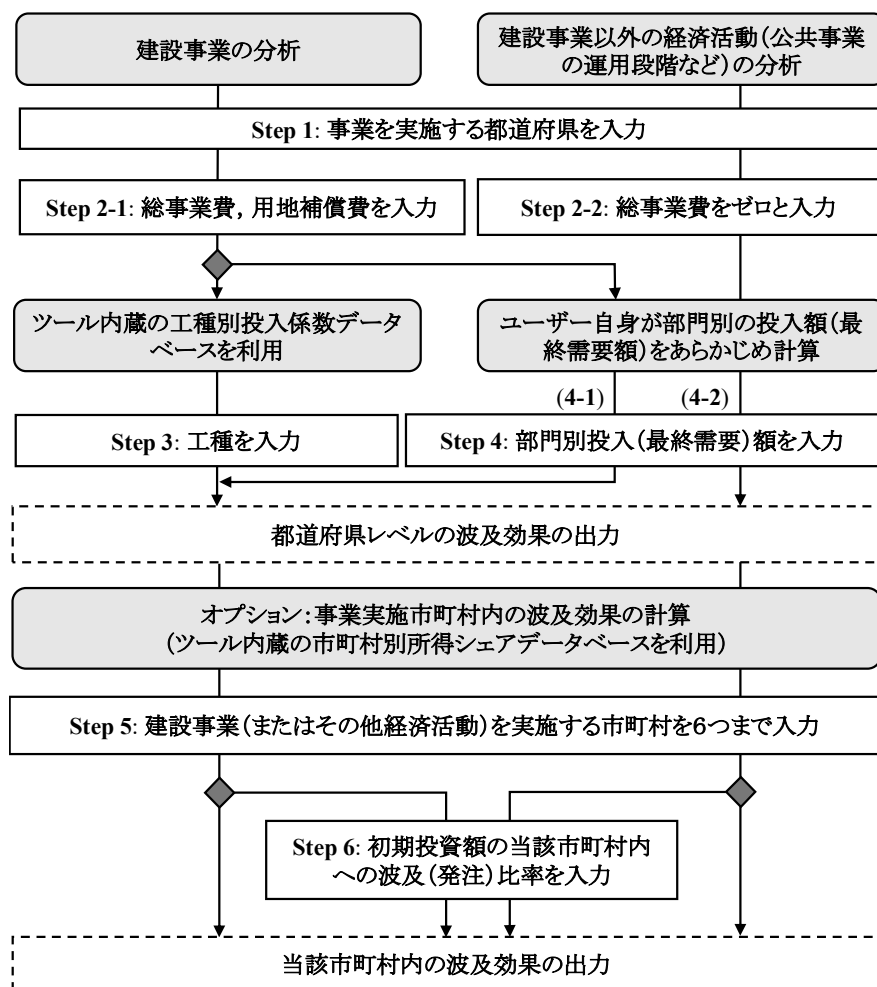


Fig. 6 ユーザーによるデータ入力手順のフローチャート
Flowchart for data-inputting procedures by users

プルダウンメニューから選択する。この場合、Step 4 の中間投入額の入力省略し、Step 5 に進む。

Step 4: 建設事業の場合 (4-1) は中間投入額、建設事業以外の場合 (4-2) は最終需要額を部門毎に入力する。

(4-1) 建設事業を対象とするが、Step 3 で「事業種別」を入力しない場合については、ユーザー自身が、当該事業に投入する財・サービスの費用細目を、Step 4 に表示された 47 の部門にそれぞれ振り分けて、部門毎に入力する。このような操作を「産業格付け」(小長谷ら, 2012) という。例えば、「測量費」を「対事業所サービス」部門に格付けること等を指す。産業格付けを行うにあたっては、例えば、全国産業連関表の総合解説編(総務省, 2015)に、産業連関表を構成する各内生部門の定義が詳細に記述されているので参考にすることができる。

ここで入力した中間投入額の 47 部門の合計と、Step 2 で入力した総事業費(用地補償費を除く)の差額が、自動的に当該事業の付加価値額として計上される。(したがって、中間投入額の合計が総事業費(用地補償費を除く)を上回ってはいけな。この手法を用いるケースとしては、農業農村整備事業などの建設事業について、ユーザー自身がその費用細目を把握しており、それを正

確に反映させた波及効果の計算を行いたい場合などが該当する。

(4-2) 建設事業以外を分析対象とする(Step 2 で総事業費をゼロと入力する場合)である。主として、建設事業完了後の施設運用段階で発生する波及効果を計測する場合が該当する。

例えば、小水力発電事業の運用段階における波及効果を計算する場合、「小水力」あるいは「マイクロ水力」部門に、発電施設の生産額(年間収入)を入力する(他の部門は入力しない)。ただし、一部の県の「小水力」については、結果が出力されない場合があるので、その場合は、「マイクロ水力」を代替部門として活用されたい(詳しくは、3.3 節を参照)。

あるいは、農業農村整備事業(建設段階)の完了後に作物生産増加効果が期待される場合に、その増産効果からさらに派生する生産誘発額を計算するためには、「農業」部門にその生産増加額を入力する(他の部門は入力しない)。あるいは、建設事業完了後の各種効果が複数の部門にまたがる場合は、それらの部門に額を同時に入力しても良い。

Step 5: 以下のステップは、建設事業（またはその他の経済活動）を実施する当該市町村内の波及効果を区別して計算するためのオプションである。まず、「事業実施市町村名」を最大6つまで選択指定する。2.9節で述べたように、ここで入力された市町村に基づいて、「事業実施市町村への波及効果」が「地域シェア法」により按分計算される。

Step 6: 「直接投資額（建設事業の場合、用地補償費を除く総事業費）の当該市町村内への波及（発注）比率」を入力する。本ツールによって計算された各種の「直接効果」にこの比率を乗じたものが、当該市町村内への各種波及効果に加算される。一方、直接効果以外の効果、すなわち、間接一次効果および所得連関効果については、この比率にかかわらず、データベースに内蔵されている「地域シェア（市町村内総所得の県内比率）」を用いて按分計算される。なお、この「当該市町村への波及（発注）比率」をユーザーが入力しない場合は、直接効果を含め全ての波及効果が、「地域シェア」を用いて当該市町村へ按分される。

以上のデータを入力し終えたら、メニューにしたがって、入力データの確認、計算の実行へと進む。なお、計算の実行を開始してから結果が出力されるまでには、多少の時間がかかるので留意されたい。

4.2 結果の出力

解析結果は、第一に、生産誘発額、付加価値誘発額、雇用誘発者数、温室効果ガス（GHG）排出量のそれぞれの項目について、後方連関効果、所得連関効果に分割した値、および両者を合計した値が出力される。さらに、この合計値を、初期投資額（建設事業の場合は用地補償費を除く総事業費、その他の経済活動の場合は最終需要額の全部門合計）で除したものが、「投資1単位あたりの波及効果（乗数効果）」であり、合計の右側に表示される。また、出力項目に応じて、「当該県内」（うち「当該市町村内」、「当該市町村以外の県内」）および「他県」に分割した波及効果が表示される。

上記の結果に続いて、「生産誘発額の大きい産業部門」が上位10位まで表示される。ここで、建設事業自身への波及額は、便宜的に「土木」部門に加算されて表示される。農業農村整備事業のような建設事業の場合、後方連関効果については、当該県内の建設産業に関連の深い土木材料系の産業（鉄鋼や土石製品など）や対事業所サービスなどの部門が上位に表示されることが多いが、事業種別や事業実施地域によって結果は異なる。一方、所得連関効果については、家計部門の所得から消費へとつながる連関効果なので、各種の一般消費財やその生産を支える産業部門など、様々な部門が入り混じって表示される。

5 解析結果

5.1 農業農村整備事業（建設段階）の波及効果

本節では、本ツールに内蔵されている工種別データベースを用いて、農業農村整備事業（建設段階）の波及効果を解析する。事例として、北海道において「水路工（開水路）」の建設事業を実施するケースを取り上げる。

ここで、本ツールの47都道府県間産業連関表を用いた解析結果と、経済産業省の9地域間産業連関表を用いた同様の解析結果を比較する。9地域間表の地域区分をTable 3に示す。特に、関東、中部、近畿の3地域について、政府等が公表する他の統計資料と区分が異なる場合があること、また、47都道府県間表における都道府県の配列順（Fig. 7～Fig. 10参照）と一部異なることに注意されたい。さらに、この9地域間表は、47都道府県間表（Table 1）と若干異なる53の内生部門から構成されるが、その詳細は経済産業省（2010）を参照されたい。

ここでは、両産業連関表の比較を容易にするため、両者で地域区分が同一である北海道を事例として選択する。なお、9地域間産業連関表を用いた筆者らの既往研究（上田ら、2016；Ueda et al., 2017）では、工種の区分など分析手法の細部が本ツールと異なっていたが、本ツールとの正確な比較のため、分析手法は全て本ツールの手法に統一して再分析した。

Table 4に、生産誘発額、付加価値誘発額、雇用誘発者数、GHG排出量の4つの指標について、全国への波及効果と、北海道内への波及効果を区別して総括したものを示す。比較のため、既存の「土木」部門の波及効果を合わせて示す。さらに、Fig. 7～Fig. 10に、同じ4指標について、波及効果のおよぶ地域・県（投入地域・県）を区別して表示したグラフを示す。ここで、各Fig. の(a)が本ツールで分析した47都道府県間分析の結果を、(b)が9地域間分析の結果を示す。なお、このような都道府県別の分析結果は、本ツールの出力画面では示されないが、都道府県間分析で得られる知見の一例として示す。

まず、47都道府県間分析の結果をみると、生産誘発額について、後方連関効果が1.908、所得連関効果が2.322であり、一般の土木部門とほぼ同じレベルといえる（Table 4）。ここで、後方連関効果に比べて、所得連関

Table 3 経済産業省による9地域間産業連関表の地域区分
Regional divisions of the METI interregional input-output table

地域	域内都道府県
北海道	北海道
東北	青森, 岩手, 宮城, 秋田, 山形, 福島
関東	茨城, 栃木, 群馬, 埼玉, 千葉, 東京, 神奈川, 新潟, 山梨, 長野, 静岡
中部	富山, 石川, 岐阜, 愛知, 三重
近畿	福井, 滋賀, 京都, 大阪, 兵庫, 奈良, 和歌山
中国	鳥取, 島根, 岡山, 広島, 山口
四国	徳島, 香川, 愛媛, 高知
九州	福岡, 佐賀, 長崎, 熊本, 大分, 宮崎, 鹿児島
沖縄	沖縄

Table 4 北海道における水路工（開水路）建設事業の波及効果
Multiplier effects of Land Improvement Projects (open channel construction) in Hokkaido

		生産誘発額			付加価値誘発額			雇用誘発者数			GHG 排出量		
		後方 連関	所得 連関	計	後方 連関	所得 連関	計	後方 連関	所得 連関	計	後方 連関	所得 連関	計
47 都道府県間 分析	全国	1.908	2.322	4.229	0.904	1.307	2.211	0.142	0.167	0.309	2.843	3.148	5.991
	うち北海道	1.534	1.024	2.558	0.731	0.592	1.323	0.126	0.081	0.207	2.020	1.446	3.465
	自地域比率	0.804	0.441	0.605	0.808	0.453	0.598	0.884	0.485	0.669	0.710	0.459	0.578
9 地域間分析	全国	1.895	2.117	4.012	0.905	1.210	2.115	0.149	0.154	0.304	2.599	2.716	5.315
	うち北海道	1.562	0.860	2.421	0.757	0.522	1.279	0.134	0.067	0.202	1.691	1.127	2.818
	自地域比率	0.824	0.406	0.604	0.836	0.432	0.605	0.900	0.436	0.664	0.651	0.415	0.530
(土木部門) 47 都道府県間 分析	全国	1.877	2.271	4.148	0.893	1.278	2.171	0.143	0.163	0.307	2.656	3.083	5.739
	うち北海道	1.486	0.976	2.463	0.696	0.565	1.261	0.125	0.077	0.202	1.786	1.379	3.165
	自地域比率	0.792	0.430	0.594	0.779	0.442	0.581	0.872	0.473	0.660	0.672	0.447	0.551

注 1) 各項目は、初期投資1単位(百万円)あたりの乗数効果を示す。単位:雇用誘発者数は(人), GHG 排出量は(t-CO₂eq)

効果は、自地域外へ漏出する割合が大きく、およそ 56% に及ぶ（Table 4）。これは、家計部門の消費活動を通じた地域間の所得再配分効果を示唆している。所得連関効果を、漏出先の都道府県別に詳しく見ると（Fig. 7a）、特に東京、神奈川、愛知、大阪といった大都市圏への波及が大きい。

これらの傾向は、付加価値誘発額（Table 4, Fig. 8a）、雇用誘発者数（Table 4, Fig. 9a）、GHG 排出量（Table 4, Fig. 10a）についてもおおむね同様である。しかしながら、生産誘発額・付加価値誘発額に比べて、雇用誘発者数、GHG 排出量の方が、波及先が前述の大都市圏以外の県に分散する傾向にある（Fig. 7a～Fig. 10a）。特に GHG 排出量についてその傾向が顕著であり、これは、単位生産額あたりの GHG 排出量が比較的大きい鉄鋼、コンクリート（窯業・土石製品）、電力、運輸などの産業が、全国各地に分散して所在する傾向にあることが一因と考えられる。

次に、都道府県間分析と9地域間分析の結果を比較すると（Table 4）、4つの指標とも、本ツールの都道府県間分析は、9地域間分析の結果と大きく異ならず、おおむね妥当であると評価される。さらに、Fig. 7～Fig. 10 で比較すると、例えば、9地域間分析では11の都県が「関東」地域として大きく括られていた（Table 3）のに対し、都道府県間分析では、東京や神奈川などの首都圏とそれ以外の県への波及の割合を詳しくみることが可能である。

5.2 小水力発電事業（運用段階）の波及効果

続いて、「一般電力」「小水力」「マイクロ水力」各部門（運用段階）の波及効果を分析する。5.1 節と同様に、北海道を事例に、4つの指標について、都道府県間分析と9地域間分析を比較したものを、Table 5 に示す。

まず、生産誘発額（都道府県間分析）をみると（Table 5a）、後方連関については、一般電力（1.651）、マイクロ水力（1.505）、小水力（1.142）の順となっている。一般電力は、施設の修繕等に由来する、波及の裾野の広い製造業からの投入が比較的多いのにに対し、小水力発電は、

人件費や利潤など付加価値部門からの投入が比較的大きいことが一因と考えられる。一方で、所得連関効果については、生産誘発額、付加価値誘発額とも、小水力、マイクロ水力、一般電力の順であり（Table 5a, 5b）、この順で所得（付加価値）増加から消費増加に至る連関がより強いことがわかる。また、後方連関効果より所得連関効果の方が、自地域外へ漏出する割合が高いことは、前述の建設事業と同様である。

雇用誘発者数については（Table 5c）、後方連関効果がマイクロ水力、一般電力、小水力の順に大きく、マイクロ水力は発電規模が小さいが、維持管理作業などに生産額あたりの労働力をより多く必要とすることが推察される。

GHG 排出量（後方連関効果）については（Table 5d）、発電に多量の化石燃料を用いる火力発電が主力の「一般電力」の排出量が際立って大きい（28.969 t-CO₂eq）。一方、水力発電2部門を比較すると、マイクロ水力の排出量は、小水力のおよそ4倍である。これは、発電規模が小さくなるほど、単位発電量あたりに必要となる機械装置が多くなるため、その補修などに由来する間接排出量が多くなることが一因と考えられる。

最後に、都道府県間分析と9地域間分析を比較すると（Table 5）、5.1 節の建設事業と同様に、4指標とも、両分析の間で顕著な差は見られず、おおむね妥当な結果が得られたと評価される。

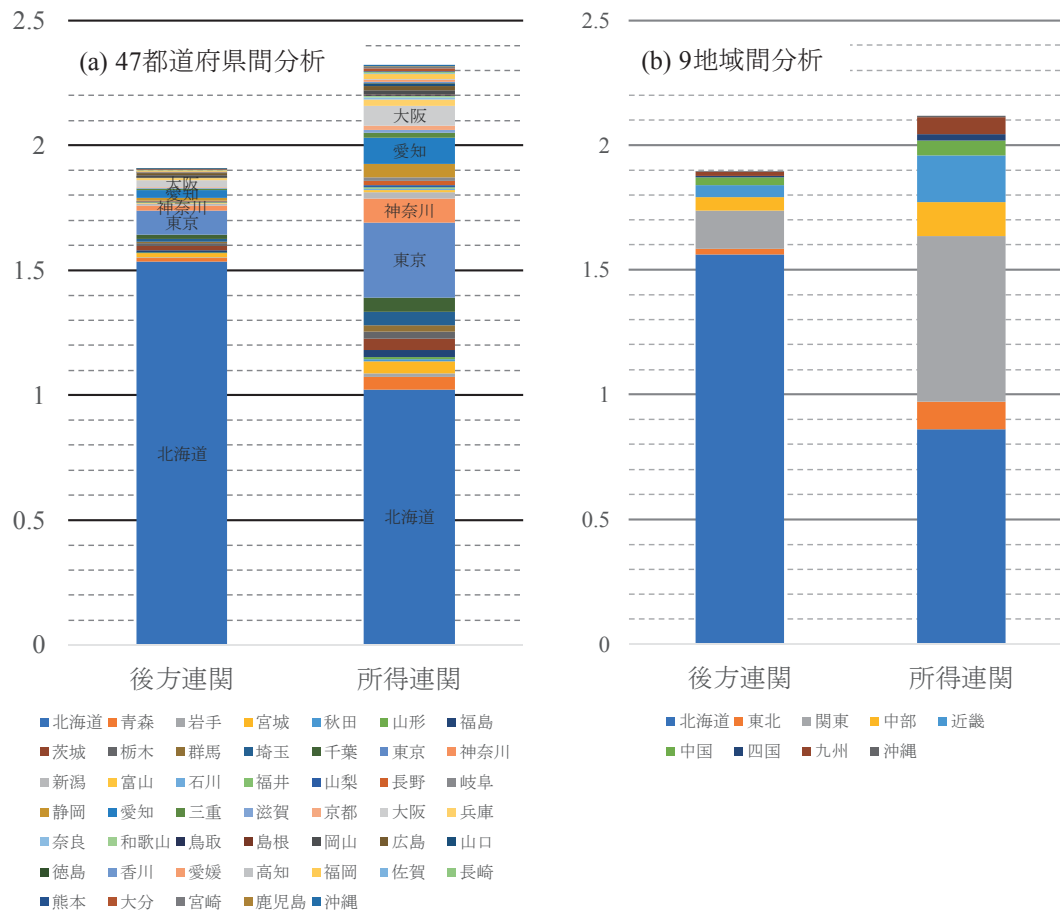


Fig. 7 北海道における水路工（開水路）建設事業の生産誘発額
Output effects of Land Improvement Projects (open channel construction) in Hokkaido
注) 単位は、Table 4 に同じ。

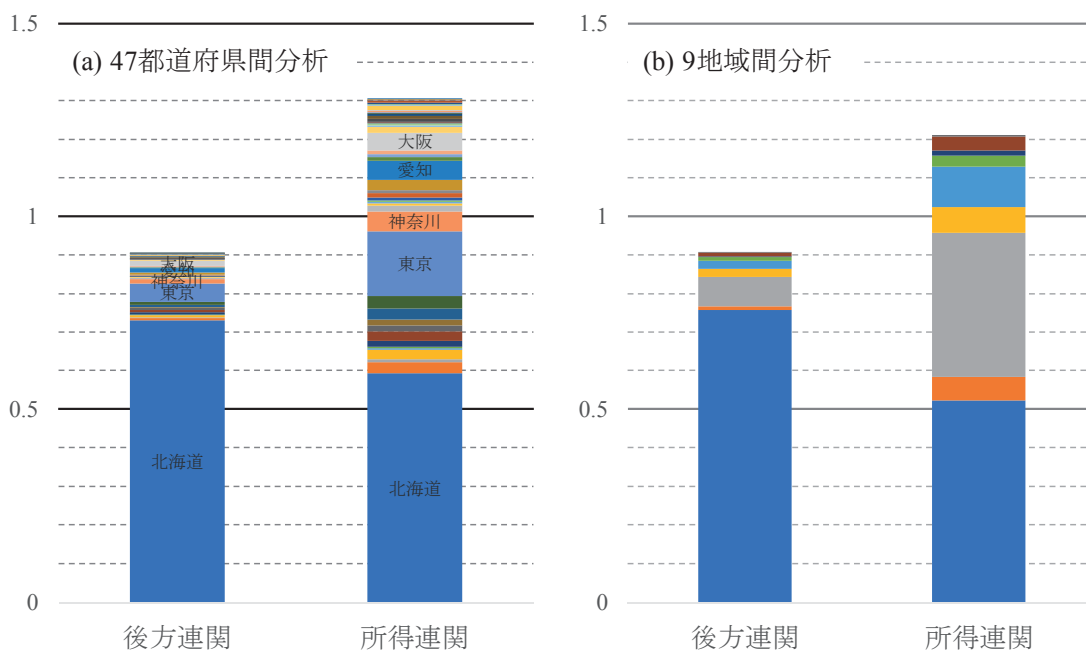


Fig. 8 北海道における水路工（開水路）建設事業の付加価値誘発額
Value-added effects of Land Improvement Projects (open channel construction) in Hokkaido
注) 凡例は Fig. 7 に同じ。単位は、Table 4 に同じ。

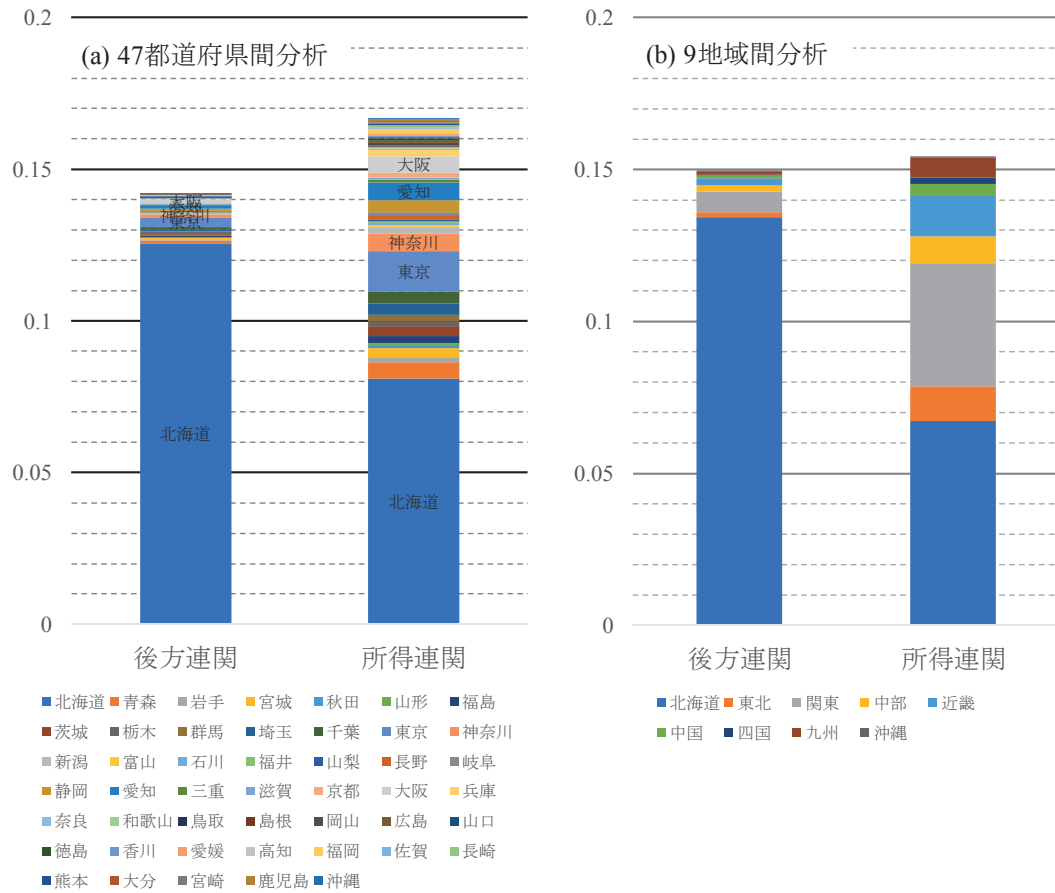


Fig. 9 北海道における水路工（開水路）建設事業の雇用誘発者数
Employment effects of Land Improvement Projects (open channel construction) in Hokkaido
注) 単位は, Table 4 に同じ。

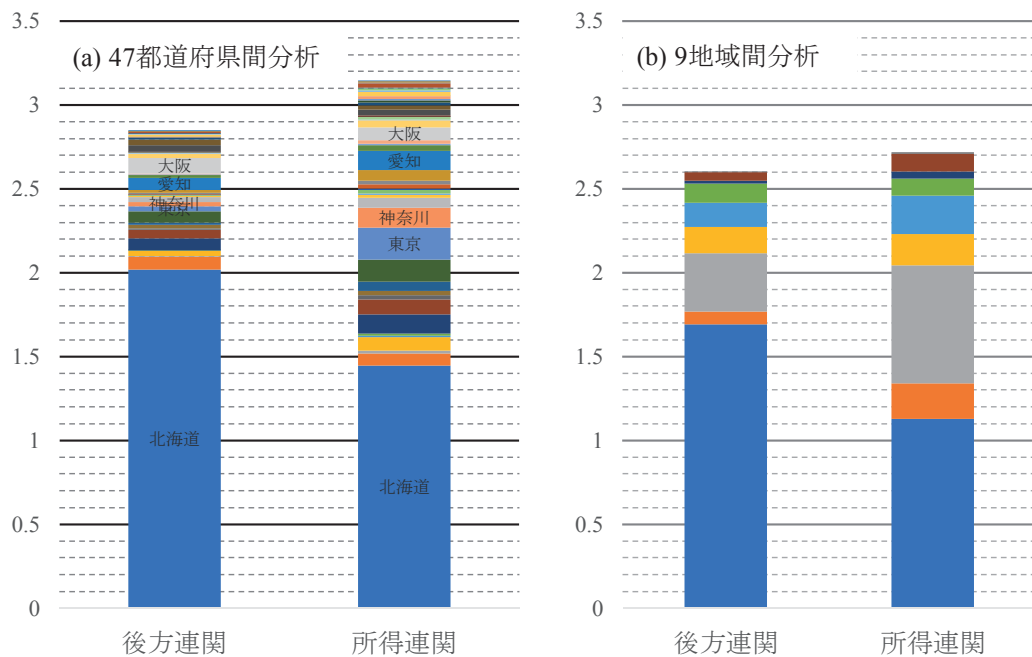


Fig. 10 北海道における水路工（開水路）建設事業の温室効果ガス排出量
Greenhouse gas emissions of Land Improvement Projects (open channel construction) in Hokkaido
注) 凡例は Fig. 9 に同じ。単位は, Table 4 に同じ。

Table 5 北海道における電力部門の波及効果
Multiplier effects of electric power sectors in Hokkaido

		一般電力			小水力			マイクロ水力		
		後方連 関	所得 連関	計	後方 連関	所得 連関	計	後方 連関	所得 連関	計
(a) 生産誘発額										
47 都道府県間 分析	全国	1.651	2.058	3.709	1.142	2.652	3.794	1.505	2.573	4.078
	うち北海道	1.443	0.938	2.381	1.105	1.316	2.421	1.369	1.228	2.597
	自地域比率	0.874	0.456	0.642	0.967	0.496	0.638	0.909	0.477	0.637
9 地域間分析	全国	1.628	1.825	3.453	1.142	2.379	3.522	1.508	2.302	3.811
	うち北海道	1.405	0.742	2.147	1.096	1.071	2.167	1.334	0.979	2.312
	自地域比率	0.863	0.406	0.622	0.959	0.450	0.615	0.884	0.425	0.607
(b) 付加価値誘発額										
47 都道府県間 分析	全国	0.791	1.158	1.949	0.993	1.491	2.483	0.975	1.447	2.422
	うち北海道	0.671	0.543	1.214	0.944	0.762	1.706	0.880	0.711	1.591
	自地域比率	0.848	0.469	0.623	0.951	0.511	0.687	0.902	0.492	0.657
9 地域間分析	全国	0.781	1.043	1.824	0.993	1.359	2.352	0.975	1.316	2.291
	うち北海道	0.653	0.451	1.103	0.949	0.651	1.600	0.864	0.595	1.459
	自地域比率	0.835	0.432	0.605	0.956	0.479	0.680	0.886	0.452	0.637
(c) 雇用誘発者数(人)										
47 都道府県間 分析	全国	0.048	0.148	0.197	0.014	0.193	0.207	0.057	0.186	0.243
	うち北海道	0.039	0.074	0.113	0.012	0.104	0.116	0.050	0.097	0.147
	自地域比率	0.803	0.500	0.574	0.868	0.540	0.562	0.881	0.522	0.606
9 地域間分析	全国	0.051	0.133	0.184	0.015	0.174	0.188	0.060	0.168	0.228
	うち北海道	0.040	0.058	0.098	0.012	0.084	0.096	0.050	0.077	0.127
	自地域比率	0.770	0.437	0.530	0.824	0.482	0.509	0.837	0.457	0.557
(d) GHG 排出量(t-CO ₂ eq)										
47 都道府県間 分析	全国	28.969	2.793	31.762	0.336	3.620	3.956	1.399	3.500	4.899
	うち北海道	28.689	1.325	30.014	0.283	1.857	2.141	1.235	1.734	2.970
	自地域比率	0.990	0.474	0.945	0.843	0.513	0.541	0.883	0.495	0.606
9 地域間分析	全国	28.940	2.340	31.280	0.347	3.059	3.406	1.429	2.955	4.384
	うち北海道	28.631	0.972	29.603	0.277	1.402	1.680	1.198	1.283	2.481
	自地域比率	0.989	0.416	0.946	0.800	0.458	0.493	0.839	0.434	0.566

注 1) 各項目は、最終需要1単位(百万円)あたりの乗数効果を示す。

5.3 小水力発電事業のライフサイクル温室効果ガス削減効果

3.3 節で述べたように、小水力、マイクロ水力については、再生可能エネルギー固定価格買取制度の売電価格で生産額を算出したので、一般電力よりも電力単価が高くなっている。したがって、「生産額（電力売上額）百万円あたりの GHG 排出量」である **Table 5d** の値から、一般電力、小水力、マイクロ水力各部門の「発電量あたりの GHG 排出量」を直接比較することはできない。

一方で、小水力発電事業の GHG 削減量は、厳密には「小水力発電によって代替された一般電力事業から排出されるはずだった GHG 排出量」から「小水力発電自身から排出される GHG 排出量」を差し引いて求められる。したがって、小水力発電と一般電力の代替関係を正確に表すには、「単位発電量あたりの GHG 排出量」で比較することが妥当であろう。さらに、LCA の概念を援用すれば、発電事業の運用段階のみならず、建設段階を含めて GHG 排出量を評価する必要がある。

このような考え方に従い、以下に小水力発電事業のライフサイクル GHG 削減効果の算定手法を、順を追って説明する。なお、ここでは、北海道を対象に、一般電力と小水力を比較する場合を事例として述べる。マイクロ水力と比較する場合も同様である。また、費用、発電量は、全て一年単位で評価したものをを用いる。

第一に、本ツールを用いて、一般電力および小水力それぞれの発電施設建設にかかる GHG 排出量（投資額百万円あたり）を求める（**Table 6**）。ここでは、投資額百万円あたりの排出量を求めたいので、実際にかかる総事業費に関わらず、総事業費を 100 万円と入力する。さらに、事業工種を「建設（一般電力）」または「建設（小水力）」と選択する。結果の表示画面から、後方連関効果の GHG 排出量を取得する。この排出量（t-CO₂eq/百万円 = g-CO₂eq/円）に、**Table 6** に示す建設単価（円/kWh）を乗じると、「建設段階における単位発電量あたりの GHG 排出量（g-CO₂eq/kWh）」が求められる。ただし、ここでいう「建設単価」とは、発電施設の 1 年間あたりの減価償却費を年間発電量で除したものである。

第二に、本ツールを用いて、一般電力および小水力それぞれの運用段階にかかる GHG 排出量（生産額百万円あたり）を求める（**Table 6**）。その方法は、4.1 節の Step 4-2 で述べた通り、「総事業費」をゼロとした上で、「一般電力」または「小水力」部門に与える最終需要額を 100 万円とする。結果の表示画面から、後方連関効果の GHG 排出量を取得する。この排出量に、**Table 6** に示す電力単価（円/kWh）を乗じると、「運用段階における単位発電量あたりの GHG 排出量（g-CO₂eq/kWh）」が求められる。ただし、ここでいう「電力単価」とは、1 年間あたりの電力運用各部門の総生産額を年間発電量で除したものである。

第三に、建設段階、運用段階それぞれの kWh あたりの GHG 排出量を合計すると、一般電力および小水力のライフサイクル GHG（LC-GHG）排出量（g-CO₂eq/kWh）が求められる。

最後に、小水力の GHG 削減効果を求める。ここで、同効果は、例えば「一般電力と小水力の LC-GHG 排出量の差分（g-CO₂eq/kWh）」あるいは「小水力の LC-GHG 排出量の一般電力のそれに対する割合」などとして定義できる。**Table 6** に両者を示す。前者の定義を用いた場合、この値に、さらに分析対象の発電施設の年間発電量または耐用年数全期間の総発電量を乗じることにより、当該施設の年間または耐用年数の LC-GHG 総削減量が求められる。

Table 6 をみると、一般電力と比較した LC-GHG 排出量比は、小水力、マイクロ水力でそれぞれ約 5.2%、14.4% である。これらの値は、9 地域間分析を用いて求めた値（それぞれ 4.7%、13.7%）におおむね一致している。また、小水力の LC-GHG 排出削減量（423.33 g-CO₂eq/kWh）より、例えば出力 1000 kW、設備利用率 60% の発電施設における年間の GHG 総排出削減量は、 $423.33 \times 1000 \times 24 \times 365 \times 0.6 \times 10^{-6} = 2225$ (t-CO₂eq/year) と計算される。

Table 6 北海道における電力部門のライフサイクル GHG 排出量
Life-cycle GHG emissions of electric-power sectors in Hokkaido

	単位	一般電力	小水力	マイクロ水力
GHG 排出量(建設段階)	t-CO ₂ eq/百万円	2.53	2.38	1.90
GHG 排出量(建設段階)	g-CO ₂ eq/kWh	6.82	14.75	18.69
建設単価 ¹⁾	円/kWh	2.70	6.19	9.82
GHG 排出量(運用段階)	t-CO ₂ eq/百万円	28.97	0.34	1.40
GHG 排出量(運用段階)	g-CO ₂ eq/kWh	439.72	8.47	45.60
電力単価 ¹⁾	円/kWh	15.18	25.20	32.59
GHG 排出量(建設+運用段階)	g-CO ₂ eq/kWh	446.55	23.21	64.29
GHG 排出削減量 ²⁾	g-CO ₂ eq/kWh	-	423.33	382.26
GHG 排出量比(対一般電力)	%	100	5.20	14.40

1) 建設単価、電力単価は、全国平均値を示す。

2) 一般電力と小水力またはマイクロ水力の GHG 排出量(建設+運用段階)の差分を示す。

6 結 言

本稿は、筆者らが開発した、農業農村整備事業や小水力発電事業の様々な波及効果を実務担当者が簡便に計測できるツールについて、その理論的背景、利用手順と分析事例について論じた。本ツールの特色を以下の3点に総括する。

- (1) 農業土木事業投入調査などの統計資料から、農業農村整備事業 10 工種の建設段階、ならびに小水力発電事業（規模別に小水力、マイクロ水力の2工種に分類）の建設・運用各段階の投入構造を独自に推定し、既往の都道府県間産業連関表にあらかじめデータベースとして組み込むことにより、これら事業の経済波及効果（生産誘発額、付加価値誘発額、雇用誘発者数）および GHG 排出量を、都道府県レベルで簡便に計測できる。さらに、簡略化された地域シェア法を援用することにより、事業を実施する市町村レベルでの波及効果も推定できる。
- (2) 上記の各計測項目について、一般に広く行われている後方連関効果の計算に加えて、家計内生化（宮沢モデル）の分析に必要な行列を、あらかじめ計算してツールに組み込むことにより、家計の所得・消費の増加を通じた波及効果である所得連関効果の計測も可能である。
- (3) 農業農村整備事業および小水力発電事業の建設段階については、事業を実施する都道府県、総事業費（用地補償費を控除）および事業工種を入力するだけで、各種の波及効果の計測ができる。一方で、ユーザーが、当該建設事業の工法をより詳しく反映した波及効果、あるいは建設事業完了後の運用段階における波及効果を計測したい場合は、ユーザー自身が調査した産業部門別の投入額（または最終需要額）を入力して計算することも可能である。

本ツールは、幅広い実務者にとって、簡便で有益な分析手段を提供することを目的としているが、得られた資料や用いた手法に起因する限界はあり、以下に述べるように、分析結果の解釈には一定の留意が必要である。

第一に、3.1 および 3.2 節で述べた農業農村整備事業・小水力発電事業（建設段階）に関する工種別のデータベースは、本来工事地区ごとに異なる工事の内容（投入構造）を捨象して、13 工種それぞれの平均的（代表的）な投入構造を表現したものである。したがって、分析しようとする工区の工事内容が、データベースに内蔵された平均的な工事内容から異なるほど、得られる分析結果の誤差も大きくなる。このような場合は、ユーザーが自ら投入構造を調査して、マニュアル入力するのが望ましい。

第二に、本ツールの基盤となる 47 都道府県間産業連関表や温室効果ガス排出係数などは、入手可能な最新データである 2005 年時点の統計資料をもとに作成されており、本ツールの作成時点（2017 年）ですでに 12 年が経過して

いる。したがって、2005 年以降に生じた経済構造の変化は、本ツールでは反映されていない。例えば、2011 年の東日本大震災以来、全国で火力発電のシェアが増加しているため、「一般電力」の温室効果ガス排出係数は、実際にはその分増加していると考えられる。

第三に、事業実施市町村に限った波及効果を推定するため、本ツールでは「地域シェア法」を援用したが、あくまで本ツールは都道府県間分析をベースとしているため、地域シェアを用いて計算した「当該市町村内の波及効果」の正確さには、一定の限界があると考えられる。とくに、「多面的機能支払交付金」による地域共同活動など、市町村レベルの小地域で、その地域内から供給される財・サービスを密に活用しながら行うアクティビティについて、当該市町村内の波及効果をより正確に求めるためには、本ツールを超えたさらなる情報収集や、市町村レベルの産業連関表の構築が必要な場合もあるかもしれない。

第四に、産業連関分析の理論的な前提条件を認識しておく必要がある。例えば、産業連関分析は、ある需要増加を満たすための生産量の増加は、全く価格の増加を伴わずに可能であることを前提にしている。すなわち、いずれの産業においても供給能力に余裕があることが前提条件になっている。また、「投入係数」「輸入係数」「雇用誘発係数」など、産業連関モデルの内部には、モデルを簡素に保つための様々な比例関係が仮定され、それらが変化しない（固定されている）という仮定が置かれている。したがって、これら係数の安定性がどれだけ担保されているかという点は、産業連関分析の分析結果を評価する上で重要である。

謝辞：本研究は、内閣府・戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「基幹的農業水利施設の戦略的なアセットマネジメント技術の開発」ならびに JSPS 科研費 16KT0036 の助成を受けたものです。

補論：産業連関モデルの数学的導出¹

A.1 産業連関モデル（輸入外生型）の構築

はじめに、一地域の産業連関表をもとに、生産誘発額を計測する最も単純なモデルである輸入外生型の産業連関モデルを構築する。このモデルは、Fig. 2 の内生部門（中間取引）だけをモデルの内部に取り込み、最終需要、輸入と付加価値の全てを外生変数とするものである。

まず、Fig. 2 の「中間取引」の取引額を行列 Z で、また輸出を含む「最終需要」部門を一括してベクトル f で表すと、産業連関表の行方向の恒等関係は(A1)式で表される。

$$x = Zi + f - m \quad (A1)$$

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}, Z = \begin{pmatrix} z_{11} & \cdots & z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & \cdots & z_{nn} \end{pmatrix}$$

¹ 補論は、主に、宮沢(2002)、小長谷ら(2012)、Miller and Blair (2009)を参考に書き下ろした。

$$\mathbf{i} = \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}, \mathbf{f} = \begin{pmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_n \end{pmatrix}, \mathbf{m} = \begin{pmatrix} m_1 \\ \vdots \\ m_n \end{pmatrix}$$

\mathbf{x} : 各部門の総生産額ベクトル（添え字は各部門を示す）

\mathbf{Z} : 各産業間の取引額を示す行列（添え字は順に投入部門、需要部門を示す。すなわち、 z_{ij} は、第 i 部門から第 j 部門へ投入された財・サービスの取引額を示す）

\mathbf{i} : 総和列ベクトル（全て1を要素とする列ベクトル）

\mathbf{f} : 各部門の最終需要額ベクトル（国内最終需要計 \mathbf{f}_d + 輸出 \mathbf{e} ）

\mathbf{m} : 各部門の輸入額ベクトル

なお、(A1)式において、行列 \mathbf{Z} の右側から総和ベクトル \mathbf{i} を掛けることは、各部門について内生部門ブロックの行和（ $z_{i1} + z_{i2} + \dots + z_{in}$ ）をとることに相当する。

次に、産業間の取引額を総生産額（表の列和）で割った「投入係数」を導入する。

$$\mathbf{A} = \mathbf{Z}\hat{\mathbf{x}}^{-1} \quad (\text{A2})$$

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_{11}/x_1 & \dots & z_{1n}/x_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1}/x_1 & \dots & z_{nn}/x_n \end{pmatrix}$$

$$\hat{\mathbf{x}}^{-1} = \begin{pmatrix} 1/x_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1/x_n \end{pmatrix}$$

\mathbf{A} : 投入係数行列（添え字は順に投入部門、需要部門を示す）

$\hat{\mathbf{x}}^{-1}$: 総生産額の逆数を対角要素にもつ対角行列

(A2)式において、行列 \mathbf{Z} の右側から対角行列 $\hat{\mathbf{x}}^{-1}$ を掛けることは、 \mathbf{Z} の第 j 列の各要素（ $z_{1j}, z_{2j}, \dots, z_{nj}$ ）をその列の総生産額（ x_j ）で割ることに相当する。すなわち、投入係数（ a_{ij} ）の経済学的な意味は、「第 j 部門の生産物 1 単位を生産するのに必要となる第 i 投入財の額」である。例えば、米 1 単位（百万円）を生産するのに化学肥料が 5 万円相当分必要であるとする、投入係数（ $a_{化肥, 米}$ ）は $5/100 = 0.05$ となる。なお、投入係数には「各投入要素の量と生産量の間に、固定的な比例関係が成り立つ」という、産業連関分析において最も基本的で重要な仮定が含まれている。

(A2)式より、 $\mathbf{Ax} = \mathbf{Z}\hat{\mathbf{x}}^{-1}\mathbf{x} = \mathbf{Zi}$ を(A1)式に代入すると、

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + (\mathbf{f} - \mathbf{m}) \quad (\text{A3})$$

(A3)式では、中間取引ブロックの行和が、(A1)式の \mathbf{Zi} の代わりに \mathbf{Ax} で置き換えられた。つまり、投入係数という比例係数を仮定することにより、任意の部門間の中間取引額 \mathbf{Z} が \mathbf{x} から推計できるようになった。これが、産業連関表の行方向の均衡関係を表す「均衡生産量モデル」である。(A3)式を変形すると、

$$\begin{aligned} (\mathbf{I} - \mathbf{A})\mathbf{x} &= (\mathbf{f} - \mathbf{m}) \\ \mathbf{x} &= (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}(\mathbf{f} - \mathbf{m}) \end{aligned} \quad (\text{A4})$$

\mathbf{I} : 単位行列（1を対角要素とする対角行列）

(A4)式により、最終需要ベクトル \mathbf{f} を独立変数（モデルへの入力）、総生産額ベクトル \mathbf{x} を従属変数（モデルの出力）とする産業連関モデル（輸入外生型）が構築された。(A4)式の $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ を「レオンチェフ逆行列（輸入外生型）」という。このモデルにより、「ある最終需要 \mathbf{f} が生じたときに、その需要を満たすために必要となる各部門の生産物の量 \mathbf{x} 」を計測することができ、これを生産誘発額（後方連関効果）という。

また、(A4)式は次のようにも解釈できる。2.3 節で、ある産業への需要が発生したとき、その産業自身にただちに波及する生産

増加を「直接効果」とであるとした。これは、需要増加分に等しいので、 \mathbf{If} と表される（いま輸入は無視する）。さらに、この直接効果による生産増加を支えるため、その産業に投入される原材料・サービスの生産が増加する必要がある。これは、第1巡目の間接一次効果であり、 \mathbf{Af} で表される。さらに、同様の誘発効果が次々と上流の原材料・サービス部門へと波及していく。これらは、第2巡目以降の間接一次効果であり、 $\mathbf{A}^2\mathbf{f} + \mathbf{A}^3\mathbf{f} + \dots$ で表される。以上の直接効果と無限回の間接一次効果を足し合わせたものが、生産誘発額（後方連関効果） \mathbf{x} であり、次式で表すことができる。

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \mathbf{A}^3 + \dots)\mathbf{f} \quad (\text{A5})$$

両辺に \mathbf{A} をかけると、

$$\mathbf{Ax} = (\mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \mathbf{A}^3 + \dots)\mathbf{f} \quad (\text{A6})$$

(A5)、(A6)式を辺々差し引くと、近似的に次式が成り立つ。

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A})\mathbf{x} = \mathbf{f}$$

よって、

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{f} = (\mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \mathbf{A}^3 + \dots)\mathbf{f} \quad (\text{A7})$$

したがって、(A4)式により、例えば米 1 単位の需要を満たすために必要となる各部門（化学肥料、運輸サービス...等）の生産物の総量 \mathbf{x} （直接効果と間接一次効果の合計）が計算できることがわかる。

A.2 産業連関モデル（輸入内生型）の構築

前節で述べた輸入外生型モデルでは、(A4)式に示すように、輸入 \mathbf{m} を外生変数として扱っていること、また根拠となる産業連関表が、ある生産物について国内生産品と輸入品を区別しない「競争輸入型」というかたちで作表されていることから、ある最終需要 \mathbf{f} を与えたときの波及効果 \mathbf{x} には、国外への漏出（輸入品への需要）が含まれてしまう。他方で、一般に行政の現場で産業連関分析を行う場合、国内に限定した波及効果を知りたい場合が多いと思われる。

そこで、本ツールでは、輸入をモデルの内部に組み込み、国外漏出分を控除できる「輸入内生型」モデルを採用する。このモデルでは、「ある部門の生産物への国内需要が生じたとき、一定の割合で輸入品への需要（海外への漏出）が生じる」との仮定を設ける。この「海外漏出の割合」（これを「輸入係数」という）は産業連関表から求めることができ、次式で表される。

$$\mathbf{m} = \hat{\mathbf{M}}(\mathbf{Ax} + \mathbf{f}_d) \quad (\text{A8})$$

$\hat{\mathbf{M}}$: 輸入係数行列（各部門の輸入係数を対角線に並べた対角行列）

\mathbf{f}_d : 各部門の国内最終需要ベクトル（輸出を含まない）

(A8)式において、 \mathbf{Ax} は中間需要を表す。したがって、輸入係数は、各部門について、「輸入額」を「国内需要の総額」（中間需要 + 国内最終需要）で除した比例係数である。

いま、各部門の輸出額ベクトルを \mathbf{e} （すなわち $\mathbf{f} = \mathbf{f}_d + \mathbf{e}$ ）とし、(A8)式を(A3)式に代入すると、

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + (\mathbf{f}_d + \mathbf{e} - \hat{\mathbf{M}}(\mathbf{Ax} + \mathbf{f}_d))$$

式を変形すると、

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{A})^{-1}[(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{f}_d + \mathbf{e}] \quad (\text{A9})$$

(A9)式により、「産業連関モデル(輸入内生型)」が構築された。このモデルを用いることにより、海外への漏出効果を控除した、国内生産物に限った波及効果を計測することができる。(A9)式に2ヶ所表れる $(I - \hat{M})$ が、部門ごとの「国内自給率」を表し、海外漏出分を控除する役割をもつ。

A.3 地域間産業連関モデル

2.2.2項で述べたように、本ツールでは、47都道府県間産業連関表(競争輸入・非競争移入型)を採用する²。したがって、これまでに述べたモデルを、地域間産業連関モデル(輸入内生・非競争移入型)へと拡張する必要がある。そこで、前節で述べた輸入内生型モデルに準じ、「輸入品への需要(海外への漏出)は、当該輸入品を消費する地域の地域内需要(中間需要+最終需要)に比例して生じる」と仮定する。すると、輸入額ベクトルは、(A8)式に代わって、(A10)式のように表される。(以下、行列の要素の表示では、部門の表示を省略した地域ブロック行列を示す。添え字が2つある場合、順に投入地域、需要地域を表す。(A10)、(A11)式では、簡単のため、Fig. 3と同様に、3地域間モデルの例を示す)。

$$m = \hat{M}(A^*x + f^*) \quad (A10)$$

$$A^* = \begin{pmatrix} A^{11} & 0 & 0 \\ 0 & A^{22} & 0 \\ 0 & 0 & A^{33} \end{pmatrix} \\ f^* = \begin{pmatrix} f^{11} \\ f^{22} \\ f^{33} \end{pmatrix}, x = \begin{pmatrix} x^1 \\ x^2 \\ x^3 \end{pmatrix}, m = \begin{pmatrix} m^1 \\ m^2 \\ m^3 \end{pmatrix}$$

(A10)式を、地域間モデルへ拡大した(A3)式に挿入すると、

$$x = Ax + (f_d + e) - \hat{M}(A^*x + f^*) \\ x = [I - (A - \hat{M}A^*)]^{-1} [f_d - \hat{M}f^* + e] \\ = Bf_x \quad (A11)$$

$$A = \begin{pmatrix} A^{11} & A^{12} & A^{13} \\ A^{21} & A^{22} & A^{23} \\ A^{31} & A^{32} & A^{33} \end{pmatrix} \\ f_d = \begin{pmatrix} f^{11} + f^{12} + f^{13} \\ f^{21} + f^{22} + f^{23} \\ f^{31} + f^{32} + f^{33} \end{pmatrix}, e = \begin{pmatrix} e^1 \\ e^2 \\ e^3 \end{pmatrix}, \hat{M} = \begin{pmatrix} \hat{M}^1 & 0 & 0 \\ 0 & \hat{M}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \hat{M}^3 \end{pmatrix}$$

$$B = [I - (A - \hat{M}A^*)]^{-1} : \text{輸入内生レオンチェフ逆行列} \\ f_x = f_d - \hat{M}f^* + e : \text{最終需要部門計(全国計)ベクトル}$$

以上、(A11)式により、本文の(1)式が導出された。ただし、実際に本ツールで用いる地域間表は、47地域(都道府県)47部門からなるので、上記の行列は (47×47) 行 (47×47) 列 $= (2209 \times 2209)$ 、列ベクトルは (2209×1) である。

A.4 家計内生化モデル

A.4.1 家計部門の内生化

A.3節で述べた地域間モデルでは外生部門とされていた家計部門を内生化するために、家計部門の活動を表す2つの係数ブロック (C, V) を、内生部門(家計以外の産業部門)を表す投入係数行列 A の外側(右側および下側)に配置する((A12)式)。(A12)式は、家計以外の産業部門と家計部門を分割したブロック行列で表した均衡生産量モデルを表す(なお、以下A.4.1~A.4.3項に限り、簡単のため輸入の表記を省略する)。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & C \\ V & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} f_x \\ f_y \end{pmatrix} \quad (A12)$$

x : 各地域の内生部門(家計を含まない産業部門)の均衡生産額ベクトル (2209×1)

y : 各地域の付加価値部門の均衡所得額ベクトル (47×1)

A : 各地域の内生部門の投入係数行列 (2209×2209)

V : 各産業の単位生産額あたりの各地域の粗付加価値を示す付加価値率行列 (47×2209)

C : 各地域の単位付加価値あたりの各産業の生産物への消費支出を示す消費係数行列 (2209×47)

f_x : 外生最終需要額ベクトル (2209×1)

f_y : 外生所得額ベクトル (47×1)

なお、本ツールでは、建設事業を分析対象とした場合、外生最終需要ベクトル f_x として、建設事業への投入財(コンクリート、鉄鋼等)を部門ごとに与える。さらに、外生所得ベクトル f_y は、建設事業そのものを外生的に扱っていることから、建設事業自身の所得(付加価値額計)を与える。ここで、 f_x は「土木」部門の地域間投入割合係数を参照して各県に按分し、 f_y は事業を実施する県に全て配分する。

(A12)式において、「家計部門」は所得増加から消費増加へ向かう波及の流れを担う擬制的な産業部門として位置付けられる(宮沢, 2002)。産業連関表では、雇用者所得は付加価値部門に含まれる一部門として計上されているが、ここでは、浅利ら(2016)にならい、「付加価値部門の合計額」を家計所得の代理変数として取り扱う。すると、家計所得への波及割合は、付加価値率 V で表される。すなわち、各需要地域の各需要部門の「投入地域別の付加価値額計」をそれぞれ「総生産額」で除することによりただちに求められる³。本ツールで扱う都道府県間表においては、県(投入地域)ごとに47の付加価値部門を置く(すなわち、県ごとに別々の家計部門を設定する)ので、(A12)式の y, V の行数は47となる。

次に、消費係数行列 C は、平均的な家計において、誘発された付加価値額(所得の増加)のうちどれだけの割合が各投入地域・各部門の消費財の購入に仕向けられるのかを表す係数である。ここで、新たに「各地域の家計部門において、各産業の付加価値額計を全産業にわたって合計した経済全体の付加価値額総計に比例して、各消費財に対する需要が誘発される」と仮定する。すると、従前のモデルでは外生部門として扱われていた「各需要地域の民間最終消費」を分子、「各投入地域の付加価値計を全産業・全需要地域にわたって合計した付加価値総額」を分母として、消費係数 C が定義される⁴。いま県ごとに47の家計部門を置くので、(A12)式の C の列数は47となる。

² なお、本ツールで用いた47都道府県間産業連関表では、輸入品の地域間取引に関する特殊な扱いがなされている(Kunimitsu et al., 2016)。そこで、本ツールでは、実際には(A10)式を修正した推定式によって輸入係数を計算したほか、レオンチェフ逆行列 B 、付加価値率 V 、消費係数 C の計算においても、独自の修正式を用いた(Kunimitsu et al., 2016)。しかし、議論の混乱を避けるため、本稿では、「競争輸入・非競争移入(アイサード)型」の地域間産業連関表で、標準的に用いられる手法を解説している。

なお、比較のため行った9地域間産業連関表を用いた分析では、本稿の手法をそのまま踏襲した。

³ すなわち、 $v^{r,s,j} = \bar{v}^{r,s,j} / x^{s,j}$ (F1)。ただし、 v は付加価値率、 \bar{v} は付加価値部門計、 x は総生産額、 r は投入地域、 s は需要地域、 i は投入部門、 j は需要部門を表す。(添え字は以下同様)

⁴ すなわち、 $c^{r,s,i} = \bar{c}^{r,s,i} / V^s$ (F2)。ただし、 c は消費係数、 \bar{c} は民間消費部門計、 V は各投入地域の付加価値部門計の全需要部門・全需要地域にわたる合計($V^r = \sum_{s,j} \bar{v}^{r,s,j}$ (F3))。ただし、(F3)

A.4.2 均衡所得額の計測

次に、(A12)式を変形すると、

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I - A & -C \\ -V & I \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} f_x \\ f_y \end{pmatrix} \quad (A13)$$

ここで、(A13)式右辺の逆行列を求めるために、ブロック化された行列のための逆行列を求める手法⁵を適用すると、

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B(I + CKVB) & BCK \\ KVB & K \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_x \\ f_y \end{pmatrix} \quad (A14)$$

$B = (I - A)^{-1}$: レオンチェフ逆行列 (2209×2209)

$K = (I - VBC)^{-1}$: 所得連関乗数 (47×47)

(A14)式の K に含まれる VBC が、所得増加から消費増加へ向かう波及による所得の地域再分配効果を示している。まず、ある地域の家計部門で所得が外生的に増加したとする (f_y)。すると、貯蓄を除いた所得増加の一部が、自地域や他地域で生産される消費財の購入へと回る (C)。すると、その消費増加を支えるため、各地域で生産が増加する (B)。すると、その生産増加に伴って、各地域の家計所得への配分が増加する (V)。以上のつながりを表すのが VBC である。このような家計部門を通じた波及効果によって、ある地域で増加した所得が、各地域の所得の増加へと再分配される効果をうむ。以上のような波及のサイクルは、後方連関効果と同様に、無限回繰り返されるので、それらを全て足し合わせた乗数効果は、

$$(I + VBC + (VBC)^2 + (VBC)^3 + \dots)f_y$$

と表されるが、これは、(A7)式と同様に、一般に有限値に収束し、

$$(I - VBC)^{-1}f_y = Kf_y \quad (A15)$$

と変形できる。

次に、外生的に与えられた各地域の生産物に対する需要 f_x を起点とした所得の再分配効果は、以下のものである。まず、生産物需要の増加 f_x を支えるため、各地域の生産が増加する (B)。すると、その生産増加に伴って、各地域の家計所得への配分が増加する (V)。以下、前述の波及サイクル (K) と同様であり、まとめて示すと、 $KVBf_x$ となる。これと(A15)式を足し合わせると、

$$y = KVBf_x + Kf_y \quad (A16)$$

これは、(A14)式 (ブロック行列式) の下半分に相当し、家計部門を通じた所得連関効果を勘案した各地域の均衡所得額 y を示す。

(A16)式により、本文の(3)式が導出された。つまり、いま付加価値部門の総額を家計所得の代用変数としているので、「均衡所得額」とは、換言すれば、外生的に与えられた需要 f_x および所得 f_y による「付加価値誘発額」を意味している。

なお、(A16)式は、後方連関・所得連関の両効果を包含する総効果による付加価値誘発額を示している。この内数として、後方連関効果のみによる付加価値誘発額は、所得乗数効果 K を勘案しない家計外生モデル (A.3 節) により派生的に計測され、

$$y_1 = VBf_x + f_y \quad (A17)$$

式で得られた各投入地域の I^r をそのまま需要地域に読み替えて (I^s)、(F2)式に代入する。なお、後ほど A.4.4 項 (A20 式) で、(F2)式に輸入を勘案した補正を行う。

で求められる。所得連関効果のみによる付加価値誘発額は、(A16)式と(A17)式の差分に相当する。なお、建設事業を対象とする場合、(A17)式のうち、間接1次効果相当分は VBf_x 、直接効果相当分 (建設事業自身の生み出す付加価値) は f_y であり、Fig. 1 では、それぞれ個別のフローで表記されているので注意されたい。

A.4.3 均衡生産額の計測

さらに、(A16)式で求められた均衡所得額 y を起点として、その所得増加分に応じて各地域で消費が増加する (C)。すると、その消費増加を支えるため、各地域で生産が増加する (B)。これは、家計部門を通じた乗数効果 (所得連関効果) を支えるために必要な生産増加分であり、次式で表される。

$$\begin{aligned} BCy &= BC(KVBf_x + Kf_y) \\ &= BCKVBf_x + BCKf_y \end{aligned} \quad (A18)$$

(A18)式により、本文の(2)式が導出された。

(A18)式に加えて、外生最終需要 f_x そのものを支えるため (すなわち、家計部門を通じた乗数効果を勘案しない場合) に必要な、直接的な生産波及による生産増加が勘定されなければならない。これは、後方連関効果そのものであり、 Bf_x と表される。これを (A18)式に加算すると、次式のように、各産業の均衡生産額 x ((A14)式 (ブロック行列式) の上半分) が求められる。

$$x = (B + BCKVB)f_x + BCKf_y \quad (A19)$$

(A19)式の右辺第1項は「後方連関効果」を、第2項と第3項の和は「所得連関効果」を表す。すなわち、(A19)式の均衡生産額 x は、外生最終需要を支えるために直接必要な生産増加分 (後方連関効果) に加えて、家計部門の所得・消費の増加を支えるための生産増加分 (所得連関効果) をも勘案した総生産誘発額を示している。

A.4.4 輸入額の控除

以上、A.4.1～A.4.3 項の家計内生化モデルの説明では、簡単のため、輸入・輸出を明示しなかった。しかし、本ツールでは輸入内生型地域間モデルを採用するので、最初に与える外生最終需要、および内生部門と家計消費への波及段階において、輸入品への需要として海外に漏出する分を控除しなければならない。このうち外生最終需要 (f_x) および内生部門 (B) ((A14)～(A19)式) については、それぞれ、(A11)式における f_x 、 B をそのまま代入すればよい。一方、家計部門においては、消費係数行列 C として、(A20)式を与える (表示の都合上、3地域モデルの例を示す)。

$$C = \begin{pmatrix} (I - \hat{M}^{11})c^{11} & c^{12} & c^{13} \\ c^{21} & (I - \hat{M}^{22})c^{22} & c^{23} \\ c^{31} & c^{32} & (I - \hat{M}^{33})c^{33} \end{pmatrix} \quad (A20)$$

c^{rs} : 需要地域 s の家計部門による投入地域 r の生産物に対する消費係数ベクトル

引用文献

- 浅利一郎、土居英二 (2016) : 地域間産業連関分析の理論と実際、日本評論社。
エネルギー・環境会議 (2012) : 発電コスト試算シート、内閣官房エネルギー・環境会議、コスト等検証委員会。

⁵ その証明については、例えば、Miller and Blair (2009: 700-701) を参照のこと。

- 後藤真宏, 上田達己, 浪平篤, 廣瀬裕一(2012): 土地改良施設を利用した小水力発電計画に関する一考察, 農工研技報, 212, 127-135.
- 橋本潤二, 小川聡子(2014): 土地改良事業における温室効果ガスの算定手法について, 農業農村工学会誌, 82(8), 633-636.
- 石川良文, 片田敏孝, 青島縮次郎(1996): 地域間産業連関分析を可能にした公共事業の経済波及効果計測システムの開発, 土木情報システム論文集, 5, 45-52.
- 石川良文, 宮城俊彦(2004): 全国都道府県間産業連関表による地域間産業連関構造の分析, 地域学研究, 34(1), 139-152.
- 経済産業省(2010): 平成17年地域間産業連関表・作成結果報告書.
- 小長谷一之, 前川知史(2012): 経済効果入門, 日本評論社.
- Kunimitsu, Y., Ueda, T., Okiyama, M. and Tokunaga, S. (2016): Forward and backward linkage effects of agricultural direct payment for coping with aging irrigation and drainage facilities on regional economy: application of 47 prefecture-inter-regional input-output analysis, Proceedings of the 15th International Conference of the Japan Economic Policy Association, Hakodate, Hokkaido, Japan.
- Miller, R.E. and Blair, P.D. (2009): Input-Output Analysis – Foundations and Extensions, Cambridge University Press.
- 宮沢健一(2002): 産業連関分析入門(新版), 日本経済新聞社.
- 南斉規介(2013): 2005年産業連関表に基づく部門別エネルギー消費量および温室効果ガス排出量の推計方法-産業連関表を用いた環境負荷原単位データブック(3EID)-2013年8月改訂版, 国立環境研究所.
- 大平純彦, 吉田泰治, 中川俊彦(2000): 県表を用いた市町村における経済効果の計測について-公共投資と観光消費の経済効果を事例として-, 産業連関, 9(4), 52-62.
- 新エネルギー財団(2009): 平成20年度中小水力開発促進指導事業基礎調査(未利用落差発電包蔵水力調査)報告書, 経済産業省資源エネルギー庁委託調査.
- 総務省(2015): 平成23年(2011年)産業連関表・総合解説編. http://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/011index.htm (2017年9月11日確認)
- 徳永澄憲, 沖山充(2014): 大震災からの復興と地域再生のモデル分析, 文眞堂.
- Ueda, T. and Kunimitsu, Y. (2017): Economic and environmental impacts of agricultural and rural development projects in Japan: evidence from an interregional input-output analysis, Asia-Pacific Journal of Regional Science, Online First, DOI: 10.1007/s41685-017-0044-2.
- 上田達己, 國光洋二(2016): 拡張地域間産業連関表による農業農村整備事業からの温室効果ガス排出量の解析, 日本地域学会第53回年次大会講演要旨集.
- 上田達己, 國光洋二(2017): 地域間産業連関分析による小水力発電事業の経済波及効果および環境保全効果の計測, 日本地域学会第54回年次大会講演要旨集.
- 全国小水力利用推進協議会(2014): 小水力発電実務研修会テキスト.

原稿受理 平成29年10月23日

A web application for evaluating economic and environmental multiplier effects of the Land Improvement Projects and small hydropower projects using an inter-prefectural input-output analysis

UEDA Tatsuki*, KUNIMITSU Yoji*

* Resources Evaluation Unit, Division of Regional Resources Engineering

Abstract

We develop and report a web application for evaluating economic multiplier effects and greenhouse gas (GHG) emissions of the Land Improvement Projects (LIPs) and small hydropower projects (SHPs). The application is designed to enable simple and easy calculations of those effects and emissions by practitioners working at administrative offices. This was realized through incorporation of our newly-developed databases on input structures of LIPs and SHPs into the inter-prefectural input-output table previously developed by Ishikawa et al. Using this application, for instance, life-cycle GHG emissions of small and micro hydropower projects (implemented in Hokkaido) were respectively evaluated as 5% and 14% of those of the general electric-power sector.

Key words: *Input-output analysis, Public works, Renewable energy, Regional economy, Climate change*