

第6章

IDE-GSM の課題と将来の方向性

ケオラ・スックニラン， 後閑利隆， 早川和伸， 熊谷 聡

第1節 背景

IDE-GSM は2007年に最初のモデルが開発されて以来， 拡張と改良を重ねてきた。モデルを構成する三つの要素， すなわち， モデル， パラメータ， データのそれぞれが拡張・改良されるとともに， シミュレーションの実行スピードの向上， 複雑なシナリオをコントロールするための仕組みの実装などが行われてきた（第1章表1-1参照）。

IDE-GSM の中核をなすモデル部分については， 産業部門を3部門から7部門に拡張し， 中間財を考慮したモデルへと改良された。パラメータについては， 先行研究で多く用いられているものを利用し， さらに独自に推計することで妥当性を高めてきた。データについては， 対象とする地域を拡大し， 必要な経済地理データおよびルート・データを整備してきた。さらには非関税障壁の水準を推計したことで， その後の IDE-GSM の用途が大きく広がった。

経済地理データについては， メコン地域を中心とした10カ国からスタートして， 現在は18カ国・地域にまで拡大している。また， ミャンマーの域内総生産（GRP）作成には2012年度より衛星画像が利用されている（第4節参照）。ルート・データについては， 当初は道路のみからスタートし， 海路・空路が加わり， 現在では鉄道を含めた4モードでルート・データを作成している。

ルート・データはより現実に即したものにするために見直しが行われており、必要でない判断されたルートは削除されることもある。アジア地域以外は1国を首都で代表して「その他世界」としてモデルに組み込んでいる。当初、経済規模が大きいEUとアメリカのみを組み込んでいたが、現在ではEUを国別とし、南米やアフリカなども含めた63カ国が「その他世界」として組み込まれている。

その他、複雑なシミュレーション・シナリオを実行できるように開発が続けられており、震災・洪水のような自然災害や特別経済区（Special Economic Zone: SEZ）設置の効果をシミュレートできるようになっている。また、シミュレーションの過程で地域間の物流量が計算されるが、それを出力して分析できるようにし、さらには、計算された物流量のデータを利用して空港・港湾・国境での通関などでの混雑を計算できるようになっている。シミュレーション内の全地域間で、金銭コストと時間コストの両方を考慮した最適輸送ルートを算出するためにGPGPU（General Purpose Computing on Graphics Processing Units）が用いられ、シミュレーション時間の短縮に大きく貢献している。

本章では、モデル、パラメータ、データのそれぞれについて、現在の課題を指摘するとともに、将来の拡張・改良の方向性が示されている。第2節では農業財への輸送費の導入を中心としたモデルについて、第3節ではさまざまなパラメータの妥当性と将来的に計を行う際の課題について、第4節では衛星画像の利用を中心にデータ作成について述べている。

第2節 モデル

今後の課題として、農業財輸送費を導入することで、農業財を含む貿易自由化の分析を可能にする必要がある。また、途上国では農業部門が大きいので、農業財の輸送費を導入することで、より現実に近い交通インフラの効果

分析が可能となる。そのため、第2章の IDE-GSM に農業財の輸送費を導入した場合の変更内容を以下で説明する。また、IDE-GSM の数値計算の結果が空間的な均衡であるようにするために、地域間、および産業間の労働者の移動を決定する自己複製子動学の変更案を紹介する。

1. 農業財の輸送費

農業財に輸送費を導入し、農業財の価格が同一となる範囲を特定することを避けるために、Armington の仮定 (Armington 1969) を設ける。つまり、各地域が一つの農業財のパラエティを生産し、地域ごとに差別化された特産品が農業部門で生産されることを仮定する。以下では、第2章第2節と異なる点のみを説明する。

新たな農業財部門では、独占的競争を想定し、規模に対して収穫一定となる生産技術を用いる。地域 r における労働の限界生産力と名目賃金が等しいことから、次式が得られる。

$$w_A(r) = \alpha A_A(r) \left(\frac{F(r)}{L_A(r)} \right)^{1-\alpha} \cdot p_A(r) \quad (1)$$

ただし、 $p_A(r)$ は地域 r で生産された農業財の地域 r における価格を表す。

さらに、農業財の輸送費は、工業財やサービス業財と同様に氷塊型の輸送費とする。地域 r における農業財の需給一致から、次の式が得られる。

$$p_A(r) = \left[\mu_A \sum_{s=1}^R Y(s) G_A(s)^{\sigma_A-1} T_{sr}^{A-(\sigma_A-1)} / f_A(r) p_A(r) \right]^{\frac{1}{\sigma_A-1}} \quad (2)$$

ただし、 σ_A は任意の二つの農業財のパラエティ間における代替の弾力性であり、 T_{sr}^A は農業財の地域 r から地域 s への輸送費用を表す。 $\sigma_A > 1$ とすることで、すべての農業財が消費される。

各地域で一つのパラエティが生産されるという仮定から、地域 r における農業財の価格指数は次式で得られる。

$$G_A(r) = \left[\sum_{s=1}^R p_A(r)^{-(\sigma_A-1)} T_{sr}^{A-(\sigma_A-1)} \right]^{-\frac{1}{-(\sigma_A-1)}} \quad (3)$$

また、地域 r の農業部門のゼロ利潤条件から、地域 r の所得は次式に置き換えられる。

$$Y(r) = p_A(r)f_A(r) + w_M(r)L_M(r) + w_S(r)L_S(r) \quad (4)$$

ただし、(4)の右辺の第1項は、地域 r の農業部門で投入される労働と土地への支払いを示す。

以上から、第2章第2節で説明した1地域当たり11本の式の中から、第2章(2)を本節(1)と置き換え、(2)と(3)を新たに加え、第2章(9)を本節(4)と置き換えることで、農業財に輸送費を加えた場合が扱われる。

2. 労働者の産業間および地域間の移動の費用

労働者の地域間の移動や産業間の移動は、実質賃金や名目賃金の違いだけでなく、地域を移動する際や就業する産業を変更する際に追加的な心理的費用(効用の減少)が発生する。そこで、Tabuchi, Thisse and Zhu (2014) に従い、第2章第5節の労働者の産業間の移動を表す式に追加的な費用を下記のように加えることができる。

$$\dot{\lambda}_I = \begin{cases} \gamma_I(w_I(r) - \bar{w}(r) + m) \sum \lambda_I(r) & 0 \leq \lambda_I \leq 1 - \bar{\lambda}_I \\ 0 & 1 - \bar{\lambda}_I \leq \lambda_I \leq 1 + \bar{\lambda}_I \\ \gamma_I(w_I(r) - \bar{w}(r) - m) \sum \lambda_I(r) & 1 + \bar{\lambda}_I \leq \lambda_I \leq 1 \end{cases}$$

ただし、 $\bar{\lambda}_I$ は $w_I(r) - \bar{w}(r)$ の絶対値が移動費用 m と等しくなる λ_I の値を表す。同様に、地域間の移動を表す式は下記のように変更される。

$$\dot{\lambda}_L = \begin{cases} \gamma_L(\bar{w}_I(r) - \bar{w}(r) + m) \sum \lambda_L(r) & 0 \leq \lambda_L \leq 1 - \bar{\lambda}_L \\ 0 & 1 - \bar{\lambda}_L \leq \lambda_L \leq 1 + \bar{\lambda}_L \\ \gamma_L(\bar{w}_I(r) - \bar{w}(r) - m) \sum \lambda_L(r) & 1 + \bar{\lambda}_L \leq \lambda_L \leq 1 \end{cases}$$

この設定の特徴として、地域間、もしくは、産業間にて、労働者が比較的均

等に立地しているときには、地域間もしくは産業間の労働者の移動が生じず、空間的な均衡は広い範囲で生じる。なぜなら、新しい設定では、地域間や産業間を移動する費用を上回るメリットがなければ労働者は地域間を移動しないからである。

第3節 パラメータ

今後の課題として、まず、各種パラメータをより現実に即したものにしていく必要がある。消費シェアや労働投入シェアについては、国ごとに現実的な値を与え、長期的にパラメータを変化させていくことが望ましい。

また、人口移動パラメータを、IDE-GSMのサンプル国特性に合わせた値に設定する必要がある。そのために、IDE-GSMのサンプル国を対象に、第2章で定式化されている人口移動に関する方程式を直接推定することが考えられる。しかしながら、推定にはいくつかの課題をクリアする必要がある。第1に、説明変数となる、業種間もしくは地域間の賃金は内生変数であるため、推定には、操作変数法を用いるなどの処理が求められる。第2に、推定には、業種別・地域別の労働者数、賃金のデータが必要となるが、とくに途上国でこのようなデータを入手するのは困難なことが多い。第3に、そのようなデータが入手可能であるとしても、実際にデータが存在しているのは、当該地域に当該業種が存在するときのみである。そのため、推定に際して、いわゆるサンプル選択バイアスを処理する必要がある。第4に、地域間移動の式では、実質賃金のデータが必要となるが、とくに途上国において、名目賃金を実質化できるような価格指数に関するデータを入手できることは稀である。第5に、人口移動パラメータは、地域区分の大きさに依存する点である。そのため、以上の問題がすべてクリアできるような特定の国を対象とすることで、人口移動パラメータを推定することができたとしても、そのパラメータ値が他の国の地域区分においても有効である保証はない。

中長期的に農業に輸送費を導入する際に、関連するパラメータおよびデータにおいて、どのような課題が考えられるであろうか。第1に、データ制約から、時間費用に関するパラメータを、農業を対象として独自に推定することは困難である。製造業におけるパラメータは、「Establishment Survey on Innovation and Production Network 2008」（東アジア・アセアン経済センター、ERIA）を用いて推定されているが、本サーベイは製造業を中心に行われたサーベイであるため、本サーベイを用いて農業における時間費用パラメータを推定することは困難である。第2に、農業においては、従価税タイプでない関税が相対的に多く存在している点である。第4章で述べているように、製造業における関税データは、WITSから入手しており、集計において非従価税の関税率を欠損値として扱っている。農業における関税率を計算する際には、非従価税タイプの関税率を従価換算する必要があるだろう。

各パラメータがシミュレーション結果に与える影響についても、さらに研究を進める必要がある。現時点では、計算能力の制約から、パラメータは特定の組み合わせで固定しているが、将来的には、複数のパラメータの組み合わせでシミュレーションを実施し、経済効果の試算結果を幅をもたせて発表することも考えられるだろう。

第4節 データ

1. IDE-GSMにおけるデータの整備

空間経済学の理論モデルを応用し、東アジアを中心とした現実の経済地理のシミュレーションをめざすIDE-GSMにおいて、現実をできるだけ正確にとらえるデータの整備は、モデル、パラメータと並び重要な要素である。これまでのデータの改良は、おもに対象地域の拡大、産業分類の細分化およびルート・データの精緻化がある。地域データがASEANの大陸部から島嶼部、

東アジア、南アジアへと拡大してきた一方、産業分類は3部門から7部門に細分化された (Kumagai et al. 2007; 2008; 2011; 2013)。輸送モードは陸路のみから、現実に合わせて、海路、空路が加わり、また、一部ではあるが、鉄道が追加された。シミュレーションに取り込まれない整備中の地域データを含めれば、対象地域はヨーロッパ、アフリカ、南アメリカに拡大している。これに伴いデータ整備そのものが、格段に複雑なものになり、従来の手作業によるデータ整備では、追いつかなくなりつつある。

IDE-GSM のシミュレーションに必要な地理的要素をもったデータは、経済地理データとルート・データに大別できる。前者はおもに労働力を含む人口や産業別 GRP からなっている。ルート・データには、どの地域がどの輸送モード (陸路、海路、空路、鉄道) でどの地域とつながっているかの情報に加え、距離や平均速度などのデータが付加される。以下では、まず経済地理データ、ルート・データの順に、その具体的な整備方法を整理しながら、これらの制約、課題や改善すべきところを明らかにする。そのうえで、これらの制約や課題の解決に役立つと思われるリモートセンシングを取り巻く環境の変化や、それによって生成されたデータの可能性を紹介する。

(1) 経済地理データの整備

経済地理データ整備のなかで最も困難な作業は、通常、全国か大きな行政区レベルでしか存在しない GRP および人口を IDE-GSM の地域に合わせ割り振る、つまり、按分することである。これまでのこの按分作業に使われる情報はそれぞれの国について入手可能かどうかの制約に合わせて、おもに、企業調査、企業センサス、大規模家計調査、大規模消費・支出調査の結果が使われてきた (第4章補論参照)。公式データが必要な地域区分で存在しないか、入手できない場合、なんらかの補足データで按分しない限り、地域データは整備できない。先進国や中進国を分析対象と限定すれば、地域数の増加によって作業に必要な時間が長くなるものの、これまでの方法でもデータ作成は可能である。しかしながら、IDE-GSM が今後の応用を考えているアフリカ

などの地域では、地域按分に必要なデータが必ずしも入手できるとは限らない。政情不安などにより、むしろ入手できない地域が多い可能性が高い。

(2) ルート・データの整備

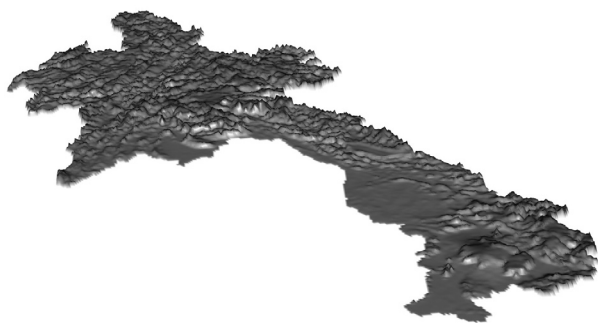
輸送コストは、空間経済学理論の中核をなす最も重要な概念の一つである。IDE-GSM のシミュレーションは、基本的に、ルート・データの有無、距離および速度などを変えることによって産業立地への影響を予測するため、ルート・データは分析結果に決定的な影響を及ぼす要素である。ルート・データは、どの地域がどの地域とどの輸送モードでつながっているかと、その距離を表すデータである。現在ルート・データには、ルートが存在する始点と終点の地域のほか、距離や平均移動速度などの付属情報が入力されている。しかし IDE-GSM のルート・データは、すべての地域間距離などのデータがあらかじめ入力されるものではない。ルート・データにある隣接する地域間距離などのデータから、全地域間のルート・データを生成する、隣接リストによるネットワークの表現方法と呼ばれるものが採用されている。隣接方式では、隣接地域のみのデータで十分なため、ルート・データ量が格段に小さいというメリットがある。IDE-GSM で最も複雑な陸路はこの隣接方式のデータが整備され、シミュレーションを実行する段階で、任意の二地域間の距離が計算される。これに対し、海路と空路は、港湾・空港を1対1のルートとして、整備されている。

陸路に比べれば、海路や空路は港湾や空港の発着データから機械的に決まる部分が多い。これに対し、道路は距離、走行可能な平均速度や地形などのデータが付加されている。距離は、地図から割り出すことができる。走行可能な速度は、道路データに加え、現地調査などから得られたデータが使われる。地形データは、山岳地帯かどうかの一部のルートで入力されている。これまでのシミュレーション結果などから、現行の道路ネットワークデータが、現実から大きくかけ離れていないことが推測できる。

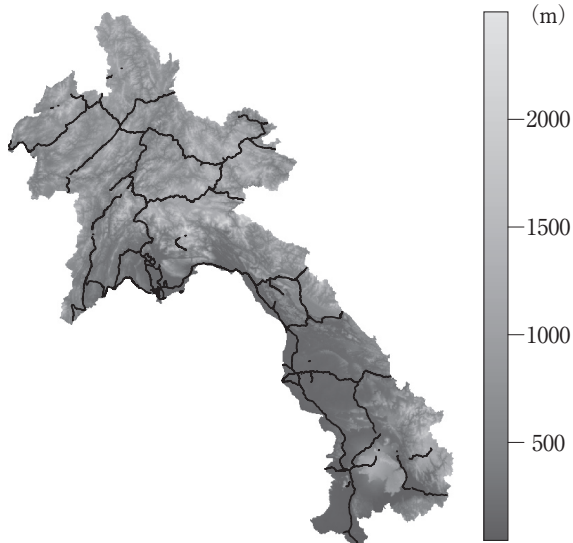
とはいえ、現行のデータ作成方法でとらえきれない現実が存在する。その

図6-1 ラオスにおける標高と道路ネットワーク

標高（最高地点約2,700メートル）



標高と道路ネットワーク



（出所）道路ネットワークはラオス国家地図局，および標高はGTOPO30に基づく。

（注）標高と距離は縮尺が異なる。

なかでも，改善すべき点は標高の考慮である。同じ距離でも平地と山道では速度も必要なコストも大きく異なることは明らかだが，現行のIDE-GSMのルート・データはこの違いを限定的にしか考慮していない。例として図

6-1にインドシナ半島における山岳国家であるラオスの標高および幹線道路ネットワークが示されている。同じ幹線道路でも、地域によっては標高2000メートル以上の山岳地帯を通過していることがわかる。また標高は道路ごとに一定ではない。図6-1にある標高データは、約1平方キロメートルごとのものであるため、これを生かすことが、ルート・データの効果的な改善方法の一つと考えられる。

要約すれば、IDE-GSMにおけるデータ整備のおもな課題は、経済地理データについては地上での調査データがない場合があること、ルート・データについては標高などの地理条件が十分に考慮できていないことである。筆者はリモートセンシングやそれによって作成されたデータは、これらの課題の解決に大いに役立つと主張する。地上での調査データがなければ上空で得られるデータを活用するのが自然な流れであり、標高などの網羅的な地理データは、リモートセンシングからしか得られないのがその理由である。

2. リモートセンシングデータの可能性

リモートセンシングとは、広義には、対象物に接触することなく、離れた場所から観測をすることをいう（日本リモートセンシング学会 2011）。現在では、おもに衛星に搭載されたセンサーによって、光（電磁波）、音波、気体分子の情報を集めることを指す。もちろん、衛星である必要はない。Hall (2010)によると、1858年に写真家であるナダールが、気球からパリ（フランス）の写真を撮影して以降、リモートセンシングは土木や軍事における重要な調査ツールとなった。1950年代までは、航空撮影がリモートセンシングのおもな方法であったが、1960年に入ると、より広い範囲を効率的に撮影できる衛星写真に変化する（Hall 2010）。冷戦下、衛星写真は軍事的に活用された一方、地球科学などを中心に民間における利用も発達した。しかし、人文社会科学において、リモートセンシングデータが広く利用されるには至らなかった⁽¹⁾。

人文社会科学において、リモートセンシングデータが広く利用されるようになるためには、越えなければならない二つの壁が存在する。第1は、少数数の研究が一般である人文社会学者にとって、高価なりモートセンシングデータを購入することが難しいという、費用の壁である。第2に、これらのデータは、人文社会科学を想定して集められていないため、そのままの形では利用が難しいうえ、処理・変換には専門的な知識が必要であるという、技術の壁である。ところが、これらの壁が近年急速に低下している。日本では、衛星測位によって正確な位置情報が、だれでも安定的に取得できる環境の構築などを目的に、「地理空間情報活用推進基本法」が、2007年に公布された(柴崎・村山 2009)。国外では、2008年ごろから、アメリカを中心に、公共機関が収集した衛星画像の無償公開化が急速に進展する。これにより、たとえば世界規模の分析なら、以前は入手に数億米ドルを必要としたデータが、数十万円で整備できる IT 機器とインターネットに接続するブロードバンドの環境があれば、だれでも無償で入手できるようになった。一方、技術面では、衛星写真の画像データを土地被覆データなどに1次加工した大規模データの整備と公開も着実に進展した。パーソナル・コンピュータの性能が向上する一方で価格が大きく低下したことで、大量のデータを保存、処理する環境整備コストも大幅に低下した。小規模の研究予算でも、リモートセンシングデータを利用する環境が整ったといえる。

現地調査で得られるデータと人工衛星などから得られるデータには、それぞれ長所と短所が存在する。現地調査では、質の高いデータが得られやすい一方、収集費用と時間コストから、頻度および網羅率が低くなる傾向がある。現地調査では、頻度と網羅率は多くの場合、代替的な関係にある。聞き取り調査であれば、どのような内容の情報も入手し得るが、同じ場所で行う頻度を高くすれば、通常は網羅率が低くなる。反対に国勢調査など網羅率が高い調査は、数年に一度しか行われぬ頻度の低いものになる。これに対し、リモートセンシングは、直接的に得られる情報は、事前に搭載されるセンサーが収集可能なデータに限られるが、はるかに広範囲を高頻度で網羅すること

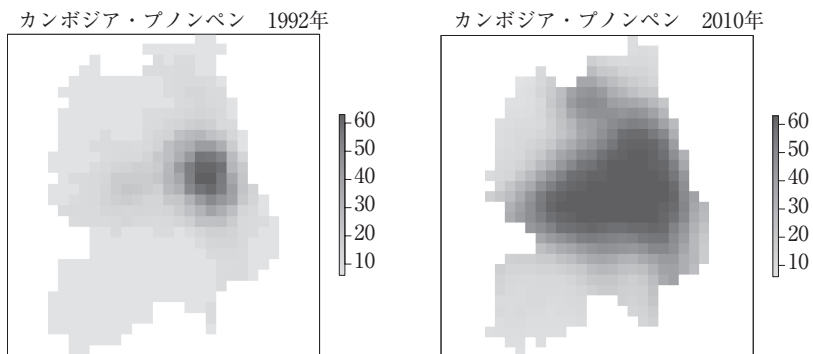
ができる。具体的にはたとえば、土地被覆データが生成される MODIS であれば、全世界を1~2日で約1回以上網羅する。しかし人工衛星から得られる情報、光の反射などのデータは、そのままでは人文社会科学にとって、分析に使えるとはいえない。聞き取り調査は質問次第でどんな情報も入手しうる質の高い情報である一方で低頻度、低網羅率であり、リモートセンシングは「浅い」情報である一方で高頻度、高網羅率であることから、この二つの情報は補完的な関係にあるともいえる。実際、これまでのリモートセンシングデータの人文社会科学における利用も、現地調査で得られたデータを時間、または空間的に補完するものであった。現地調査データを補完に活用されつつあるいくつかのリモートセンシングデータを紹介したい。

(1) 人工夜間光

Croft (1978) は早い段階で、衛星から観測できる夜間光と地上における経済活動の高い相関関係を指摘していた一人である。図6-2は、気象衛星が雲の状況を調べるために観測したカンボジアの街の人工夜間光である。

ここでいう人工とは、月光、雷、オーロラなど自然の光がフィルター（除外）されたものを意味する。人工夜間光のデータは、一つひとつのグリッド

図6-2 プノンペンの人工夜間光の時空間データ



(出所) NOAA に基づき筆者作成。

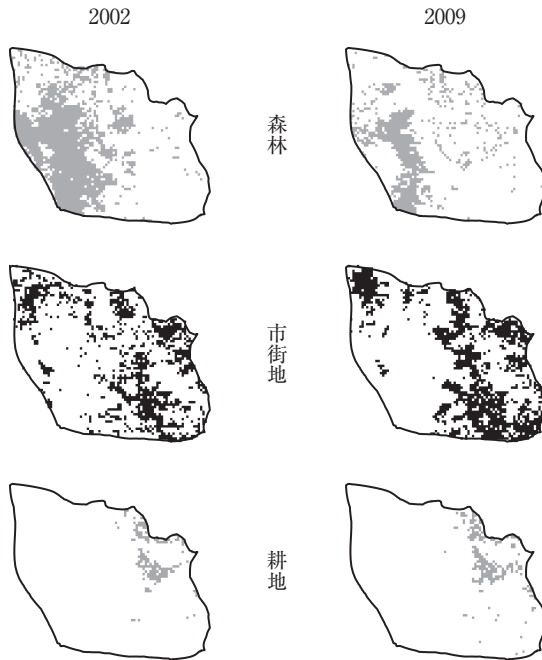
には、光が観測されていない状態を示す0から、最も強い光を意味する63までの値が入る。その後、Elvidge et al. (1997) が観測された人工夜間光の面積を説明変数として、人口、GDP (PPP \$)、そして電力使用量の関係を推計した。21カ国に対するクロスセクション分析では、いずれも1前後の非常に高い弾力性を示した。これに対し、Sutton and Costanza (2002) は、観測された光の強さの合計を用い、国よりも下の行政区分でGRPを推計した。分析したのは、EU11カ国およびアメリカの州レベルのGRPと夜間光の強さとの関係である。外れ値を除けば、安定した関係になると結論付けた。Ghosh et al. (2010) は付加価値を工業とサービス業に分け、夜間光の強さとの関係を推計した。農業は、人口分布のデータ (Landsat) を説明変数とした。この結果を使い、全世界の1平方キロメートルごとの地点別GRPデータを推計した。Henderson et al. (2012) は、従来の1年のデータを使ったクロスセクション分析ではなく、パネル分析を駆使し、国や年の固定効果を考慮しながら、夜間光の強さとGRPの関係を推計した。後述するリモートセンシングデータの活用事例では、このHenderson et al. (2012) とこれを拡張したKeola et al. (2015) の枠組みを参考に、夜間光と土地被覆データを使い、地域別のGRPの推計を行っている。

リモートセンシングデータの特徴は、この人工夜間光データのように、一辺が1～2キロメートルという細かいグリッドであるため、ほとんどの行政レベルに集計することが可能な点である。上述のように、人工夜間光と付加価値のような地上の経済活動規模を表す指標の関係を推定することで、国よりも小さい行政単位別のGRPを推計することが可能にある。

(2) 土地被覆

人工夜間光と並び、人文社会科学に有用と思われるのは、土地被覆データである。土地被覆データとは、森林、市街地、耕地などの土地被覆を意味する値が、各グリッドに示されるデータである。光の反射などを基に、サンプルサイトのデータ、人間による判断と機械学習を組み合わせ、土地被覆の判

図 6-3 ビエンチャン郡の土地被覆の時空間データ



(出所) MODISの土地被覆データセットに基づき筆者作成。

断をする。実際の土地被覆が複合的であっても、グリッドごとに必ず一つの土地被覆に分類されるため、1次元の強さのデータを含む人工夜間光観測に比べれば、結果が若干不安定である。

とはいえ図6-3にあるように、ラオスの首都のある郡では、2002年に約50%を占めた森林（上）が、2009年には大きく減少した結果が表れている。反対に市街地（中）面積は北部と東部で増加した結果になっている。ラオスには大規模農業があまりないためか、耕地と判断された部分（下）は、あまり変化していない。土地被覆の精度は約70%といわれているが、その判断の間違いに規則性がなければ、たとえば農業の成長を説明する変数としては、十分利用可能であると考えられる。土地被覆データは、人工夜間光よりも細

かく、一辺500メートルのグリッドのデータのため、実質的にどんな小さな行政単位でも、集計することが可能である。したがって、たとえば、国レベルで土地被覆別の面積と農業部門、林業部門の付加価値との関係がわかれば、地域別のこれらの部門別付加価値も、理論的には推計できることになる。

このように、リモートセンシングは現地調査と同様、地域の情報を入手できる効果的な手段として有用であることがわかる。以下に IDE-GSM のデータ整備において、具体的なリモートセンシングデータの活用を实践および考察する。

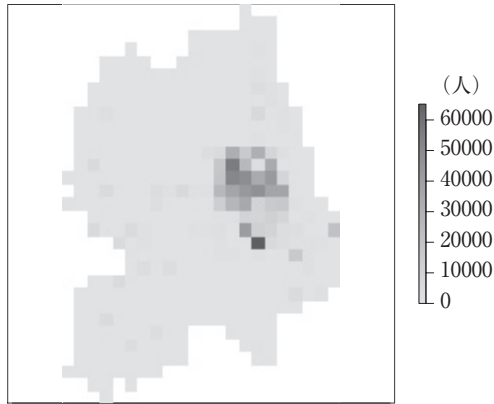
3. リモートセンシングによる地域データの整備

ここでは、人口と産業別の地域データ作成において、リモートセンシングデータを活用する可能性を検証する。

(1) 地域別人口

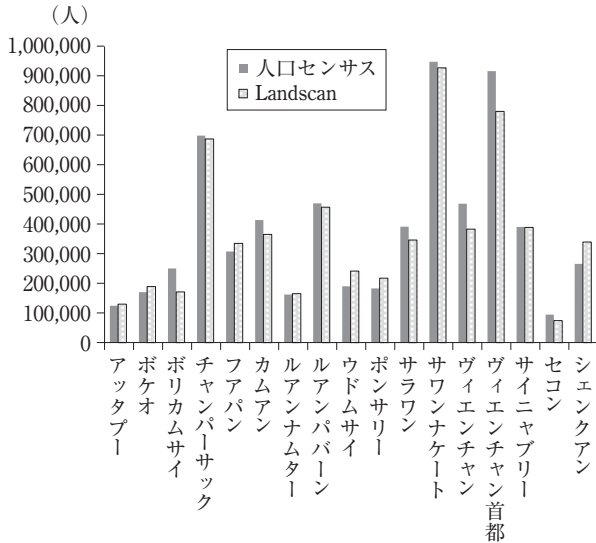
人口データは、最も重要な社会経済統計の一つである。人口統計には、通常、時間情報が付加されている。今日の国家であれば、数年に一度全国規模の調査が行われ、総人口のデータが手に入る。しかし、空間的な分解能が低い場合がほとんどである。調査が実際に行われたのならば、最小行政区別は存在するが、発展途上国では公表されたデータでは全国レベル、または、それより一つ下の行政区分までが多い。後発発展途上国に限れば、そもそも国より下のレベルの人口統計がない場合もある。しかし図6-4のように高精度の時空間データがあれば、必要に応じて、地域別の人口規模、人口密度を再集計することがほぼ自由自在にできる。図6-4は、Landsatにあるカンボジア首都の2005年の人口の空間データである。一辺が約1キロメートルのマスキングに人口データが入っている。Landsatは2000年から世界を網羅した年次のデータが公開されているため、国やその下の行政区の人口を必要に応じて集計することが可能になる。

図 6-4 人口のリモートセンシングデータ (カンボジア・プノンペン, 2005年)



(出所) Landscan に基づき筆者作成。

図 6-5 調査および推計によるラオスの県別人口シェアの比較 (2005年)



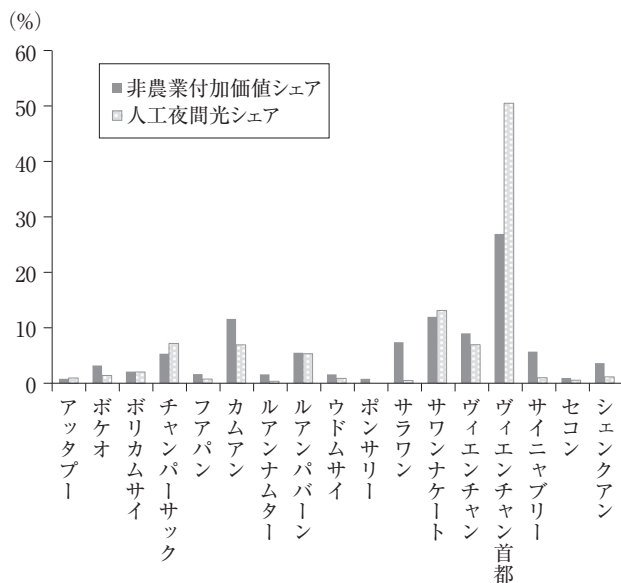
(出所) Steering Committee for Census of Population and Housing 2005 および Landscan に基づき筆者作成。

では、Landscan の数値はどのぐらい正確なものだろうか。図6-5は、ラオスの統計当局が実施した人口センサスで得られた県別人口と Landscan から集計した県別人口を比較したものである。誤差が小さいということがわかる。こういったデータを活用すれば、今後対象地域が拡大する IDE-GSM に必要な地域別人口統計の作成が比較的容易になろう。

(2) 地域・産業別付加価値

最新版の IDE-GSM で使われる地域別・産業別付加価値データは、農業、サービス業と5部門の製造業で構成される3産業7部門からなっている。製造業は、繊維、電機・電子、自動車などに分かれている。現在網羅している国の地域・産業別 GRP の作成手順は、センサスや調査データの有無、またはそれらが入手可能かによって、作成手順が若干異なる。大まかにいえば、産業別の雇用者数、企業数などで、全国レベルの産業別付加価値を按分する方法がとられている。しかし、現時点で光の反射などが主要な情報のリモートセンシングから7部門の地域・産業別付加価値を作成することは、現実的ではない。ここでは、前項で考察した先行研究を参考に、人工夜間光および土地被覆データを用いて、農業と非農業部門の地域別データの作成方法を検証する。これは、もともと調査が行われていない、または入手できない地域別・産業別付加価値を、なんらかの指標で按分することには変わりはない。按分に用いる指標が企業調査などからリモートセンシングデータに変わっただけである。そのため、留意しなければならない点は引き続き存在する。このなかで最も重要な点を次の三つの点に整理しておきたい。第1は、目的が地域別データの作成である以上、できるだけ多くの行政単位別で観測されている指標が好ましい。先行研究から人工夜間光と GDP に高い、かつ、安定した関係が存在することが確認されている。しかし夜間光は、すべての行政単位で観測されるものではない。先進国以外では、国よりも二つ下のレベルの行政区分まで下がれば、夜間光が観測されない地域の方が多い。行政区があれば最低限の農業、非農業が存在すること考えられるため、観測値がゼロと

図6-6 非農業および人工夜間光シェアの比較（2005年）

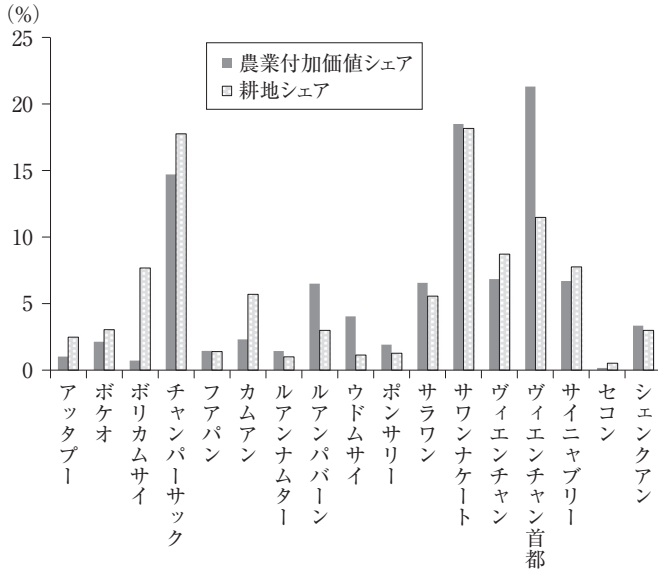


(出所) Steering Committee for Census of Population and Housing および NOAA に基づき筆者作成。

なる指標は避けるか、なんらかの対策が必要といえる。これが第2の留意すべき点である。第3は、安定的に観測される指標かどうかである。同じ行政単位で、特定経済活動が年によって大きく変動することは、考えにくいからである。以下、この三つの点に留意しながら、地域・産業別データ作成に有用と思われるデータの考察を行う。

図6-6から非農業部門の付加価値シェアは、人工夜間光のシェアと強い相関関係をもっていることがみて取れる。これは先行研究などでもすでに確認されている点である。問題は、人工夜間光が観測されていない地域が多く存在していることである。集落規模が小さい場合や、電力供給そのものが少ない発展途上国の場合、地上の光が宇宙に届かないからである。比較的狭いヨーロッパでは、ほとんどのところで人工夜間光が観測されているのに対

図6-7 農業付加価値および耕地などシエアの比較 (2005年)



(出所) IDE-GSM および MODIS の土地被覆データセットに基づき筆者作成。

表6-1 ラオスの主要土地被覆種別および観測率 (2001~2010年)
(単位: %)

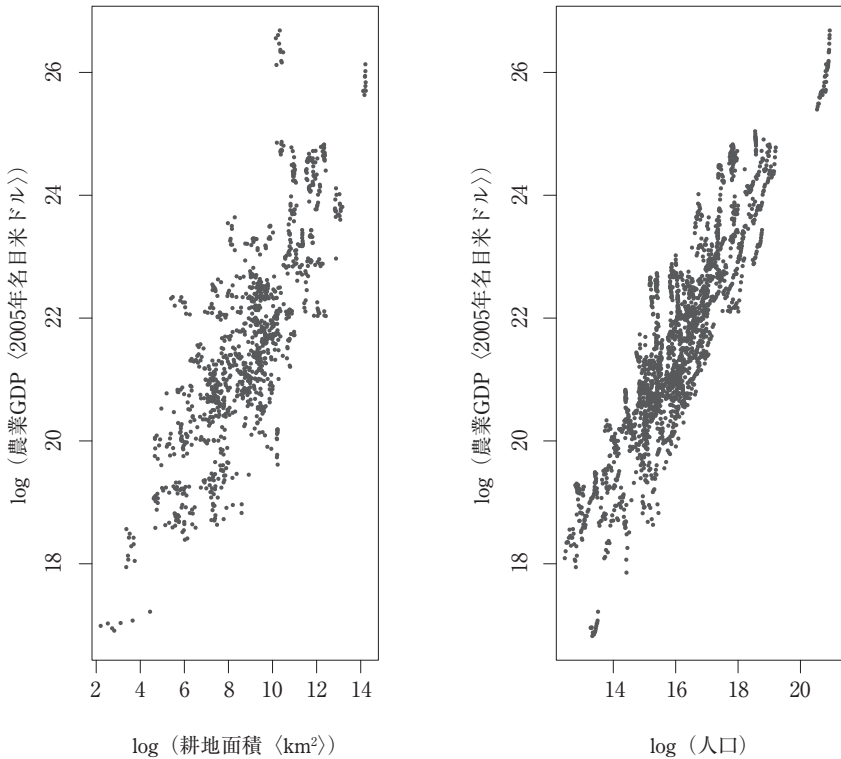
土地被覆	観測率
耕地	81.8
水	31.8
市街地	59.9
草	73.7

(出所) EOSDIS に基づき筆者作成。

し、アフリカでは大陸全体がほぼ真っ暗である。人工夜間光だけで、たとえば非農業の付加価値を按分する場合、それがまったくない行政区が出てくる。厳密な定義では、行政官は農家ではないはずである。つまり行政区があれば非農業部門は必ず存在するため、人工夜間光以外の指標が必要といえる。

図6-7に、耕地など(耕地+草原+低密度植生)のシエアと農業付加価値

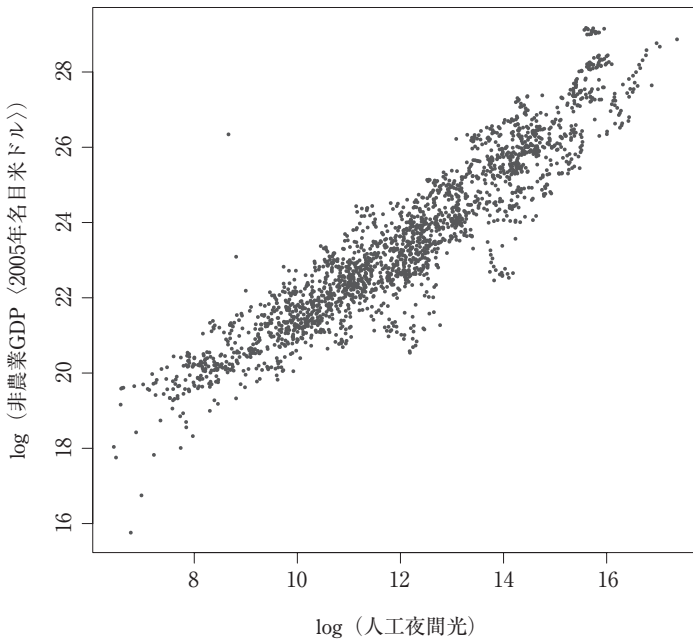
図 6-8 (a) 農業 GDP 対耕地、人口の散布図 (1992~2009年, 124カ国)



(出所) WDI および MODIS の土地被覆データに基づき筆者作成。

のシェアを示している。緑地の多くが、農業以外に使われ、かつ農業の機械化が比較的に進展したヴィエンチャン首都や旧都のルアンパバーンでは、農業付加価値のシェアが、耕地シェアを大きく上回る。一方、ボリカムサイ、カムアン、チャンパーサクでは耕地シェアが農業付加価値シェアより大きい。しかしそれ以外は、耕地などのシェアと農業のシェアの相関が非常に高い。表 6-1 に主要な土地被覆種別とその行政区別観測率を示している。行政区別観測率とは、特定の категорияが行政区で観測される率である。行政区別観測率の低下は、二つのケースで起こる。特定の行政区に池などの水が

図6-8 (b) 非農業GDP対人工夜間光の散布図(1992~2009年, 124カ国)



(出所) WDI および DMSP-OLS に基づき筆者作成。

あるものの、一つのグリッドを一つの土地被覆のカテゴリーにする必要があるため、結果的に水が土地被覆データに表れない場合と、そもそもそこに水がない場合である。リモートセンシングデータによって地上で得られるデータを補完し、当該のデータがそもそも観測されなければならないため、より多くの地域で観測される指標が望ましい。たとえば、解像度が数百メートルのリモートセンシングでは、それよりも小さい対象が観測されない場合があるのは、当然なことである。土地被覆で地域別の農業データを作成しようとする場合、人工夜間光と同様、「穴」が生じない措置を講じる必要がある。ここまで検討したリモートセンシングデータは、一般に、下層の行政区に比べいくほど観測されない、つまり、データの「穴」が生じる可能性が高く

なる。

ここでは、上述したリモートセンシングによって整備されたデータだけを用いて、ラオスにおける最下位の行政区分である郡別の農業と非農業の地域総生産を推計し、従来の方法で整備したアジア経済地理データセット2005 (GEDA 2005) と比較し、その有用性を示す。農業と非農業地域総生産の推計には、Keola, Anderson and Hall (2015) を参考に、それぞれおもに耕地および人工夜間光で推計するが、本書の目的に合わせ、以下の2点の修正を加えた。第1は、成長率ではなく付加価値そのものを推計するため、非説明変数は国内通貨の実質値ではなく、米ドルの実質値(2005年ベース)である。第2は、国レベルで推計した係数を使い、それよりも小さい行政区での付加価値を計算するには、国の固定効果を推計式から取り除く必要があった。第3は、係数は世界全体からではなく、農業では一人当たりの農業GDP階層別、非農業では一人当たりの非農業GDPと人工夜間光の弾力性別に推計したうえで、地域別の農業・非農業付加価値を計算したい国に適用する。そうすることにより、実情により近い結果が得られるからである。最後に、大規模な農業が行われない発展途上国における実態を反映するため、農業地域総生産の説明変数に人口を加えた。以下、使ったデータの概要と結果を示す。

まず図6-8のaとbに農業、非農業付加価値とリモートセンシングデータの相関を示す散布図を示した。耕地面積、そして、人口規模が農業GDPに、人工夜間光が非農業GDPに、非常に高い相関をもっていることが確認できる。それぞれの係数の推計結果は、表6-2のaとbに示す。農業では一人当たり所得が大きくなっていくにつれ、耕地面積弾力性が低くなっていく一方、労働生産性が上昇する結果になっている。これに対し、非農業の人工夜間光弾力性は、光がより多く観察される国ほど、上昇していく傾向である。これらの係数をラオスのケースに適用して、計算した農業および非農業のGRP(郡別)を図6-9のaとbに示す。GEDA2005の17県より大幅に多い139郡別でも、農業GRPの値がない地域がほぼないが、非農業GRPは、周辺郡を中心に値のない地域が散見される。しかし県単位に集計すれば、

表6-2 (a) 一人当たり農業 GDP 階層別推計結果 (124カ国)

	全階層	0~500	500~1,000	1,000~1,500
定数	7.055*** [0.256]	6.633*** [0.882]	5.752*** [0.284]	6.313*** [1.038]
耕地	0.192*** [0.015]	0.135*** [0.014]	-0.028* [0.015]	0.128** [0.049]
人口	0.790*** [0.021]	0.839*** [0.018]	1.065*** [0.023]	0.908*** [0.091]
サンプル数	1,036	916	97	41
修正 R ²	0.839	0.882	0.951	0.874

(出所) 筆者推計。

(注) 1) ***は1%有意, **は5%有意, *は10%有意を示す。[] 内は標準誤差を示す。

2) YFE2000, 2005および2009年は, それぞれ2000, 2005および2009年の年効果。

3) すべての推計で年の固定効果が含まれている。

表6-2 (b) 観測された夜間光階層別の非農業 GDP の推計結果 (124カ国)

	全	8~9	9~10	10~11	11~12	12~13	13~
夜間光	0.957*** [0.0080]	0.934*** [0.028]	0.985*** [0.023]	0.971*** [0.006]	0.991*** [0.004]	0.999*** [0.004]	0.932*** [0.087]
YFE2000	11.896*** [0.122]	9.835*** [0.433]	9.732*** [0.303]	10.982*** [0.096]	11.566*** [0.060]	12.375*** [0.075]	14.392*** [1.734]
YFE2005	12.081*** [0.122]		9.674*** [0.325]	11.017*** [0.100]	11.605*** [0.061]	12.438*** [0.069]	14.524*** [1.728]
YFE2009	12.074*** [0.124]		9.826*** [0.349]	11.023*** [0.101]	11.590*** [0.061]	12.358*** [0.073]	14.093*** [1.402]
サンプル数	2,052	28	54	482	1,041	416	31
修正 R ²	0.867	0.564	0.637	0.939	0.965	0.946	0.364

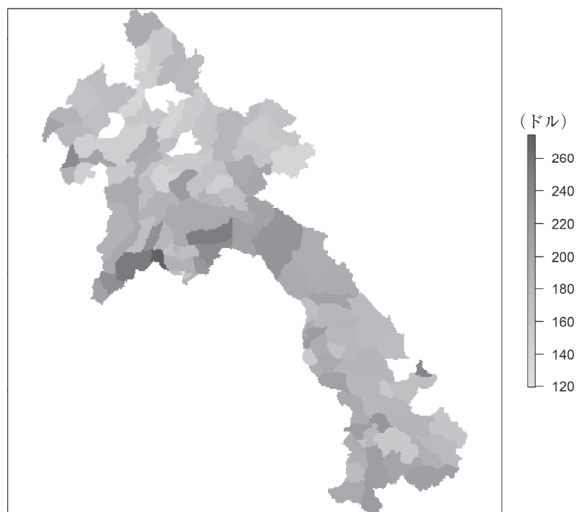
(出所) 筆者推計。

(注) 1) ***は1%有意, **は5%有意, *は10%有意を示す。[] 内は標準誤差を示す。

2) YFE2000, 2005および2009年は, それぞれ2000, 2005および2009年の年効果。

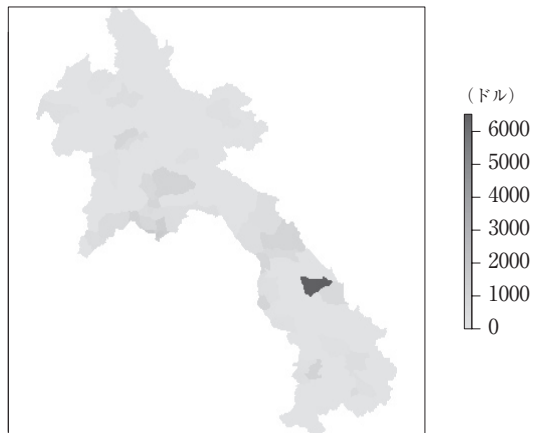
3) すべての推計で年の固定効果が含まれている。

図 6-9 (a) ラオスの郡別一人当たり農業地域総生産



(出所) 筆者推計。

図 6-9 (b) ラオスの郡別一人当たり非農業地域総生産



(出所) 筆者推計。

表6-3 GEDA 2005との比較

県	人口	GDPA	GDPNA	人口_E	GDPA_E	GDPNA_E	人口 誤差	GDPA 誤差	GDPNA 誤差
アタプー	123,199	21,891,761	38,743,668	128,611	25,351,549	17,927,883	0.04	0.14	-1.16
ヴィエンチャン	465,038	153,997,214	466,023,776	380,088	71,686,099	128,361,417	-0.22	-1.15	-2.63
ヴィエンチャン首都	909,745	505,775,163	1,516,905,544	774,603	131,685,798	913,858,965	-0.17	-2.84	-0.66
ウドムサイ	188,545	89,642,986	82,091,012	239,742	36,547,372	16,500,096	0.21	-1.45	-3.98
カムアン	410,520	52,087,293	580,383,042	362,634	68,022,576	127,129,604	-0.13	0.23	-3.57
サイヤブリー	387,366	147,203,219	283,554,509	385,938	57,043,588	18,822,399	0.00	-1.58	-14.06
サラワン	388,337	147,958,108	395,648,834	343,910	64,066,158	9,370,718	-0.13	-1.31	-41.22
サワナケート	941,102	409,526,905	363,853,880	920,783	170,774,973	239,426,968	-0.02	-1.40	-0.52
シエンクアン	263,682	73,412,888	183,939,880	336,906	71,170,899	21,339,977	0.22	-0.03	-7.62
セコン	93,651	3,544,737	44,061,696	73,629	11,796,372	10,345,713	-0.27	0.70	-3.26
チャンパーサク	693,527	326,489,191	271,731,062	682,443	132,430,758	131,062,775	-0.02	-1.47	-1.07
フアバン	305,004	30,761,698	75,618,201	332,599	53,682,656	14,175,811	0.08	0.43	-4.33
ボケオ	168,901	47,180,519	163,213,963	187,917	34,457,524	26,282,005	0.10	-0.37	-5.21
ボリカムサイ	248,084	15,271,683	98,398,459	169,745	36,857,348	37,849,445	-0.46	0.59	-1.60
ボんサリ	181,506	41,330,135	38,968,844	215,977	32,865,417	0	0.16	-0.26	
ルアンナムター	160,878	30,950,420	62,625,249	163,856	25,453,001	6,519,993	0.02	-0.22	-8.61
ルアンナバン	466,627	143,051,334	278,179,812	453,646	72,206,036	97,493,280	-0.03	-0.98	-1.85

(出所) GEDA2005および筆者推計。

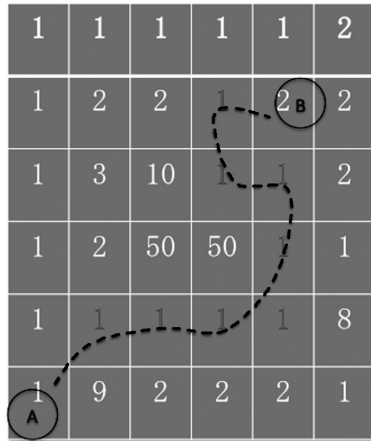
GEDA2005を十分に再現できたと評価できる（表6-3）。ラオスは世界的にも面積が比較的小さいため、ラオスの郡別で推計が可能ならば、本節で用いられた手法でも、その他の国では欠損値なく推計できる可能性が高いのである。またどんなに小さい行政単位でも観測されるリモートセンシングデータを見つけ、活用していくことにより、今後改善していく余地が大いにある。

4. リモートセンシングによるルート・データの作成

IDE-GSM のルート・データにおける輸送コストは、距離と速度などで表現されている。距離はハード・ソフトの道路地図から道路距離を入力する。速度はさらに道路の質や標高など地形が付加される。しかし、比較的に入手しやすい高速道路かどうかの情報に比べ、標高などの地形データはその連続的な側面から、十分に考慮することが難しい。本項はこれに対して、リモートセンシングデータを用い、標高など地理的コストを付加させる方法を提案する。IDE-GSM のルート・データでは、道路で隣接地域が、整備されている。以下、山間部の多いラオスの一つの県を中心から国境への距離を、道路のシェープファイルおよび標高データデータから作成し、IDE-GSM のルート・データ内の距離データと比較して評価することに加え、速度に大きく影響を及ぼすと考えられる縦方向の累積移動距離の情報が計算可能であることを示す。概念的には、図6-10に示すように、あらかじめ道路が通過するマスのコストを低く設定することにより、A から B までの移動が、道路沿いになるようなルートを決断する。横方向（平面）縦方向は、このルートの距離、そして、縦方向の累積移動距離は、約1キロメートル間隔にある標高データを用いれば、計算可能である。計算結果の図と詳細を図6-11に示す。IDE-GSM のルート・データにおけるこの2地点間の距離は約90キロメートルであるが、ここでの横方向の総距離は、約78キロメートルである。約10キロメートルの差があるが、これは座標の小さな違いで起こりうる差と考えられる。また、今回の計算では、6種類ある道路のうち、最上の2種類の道路

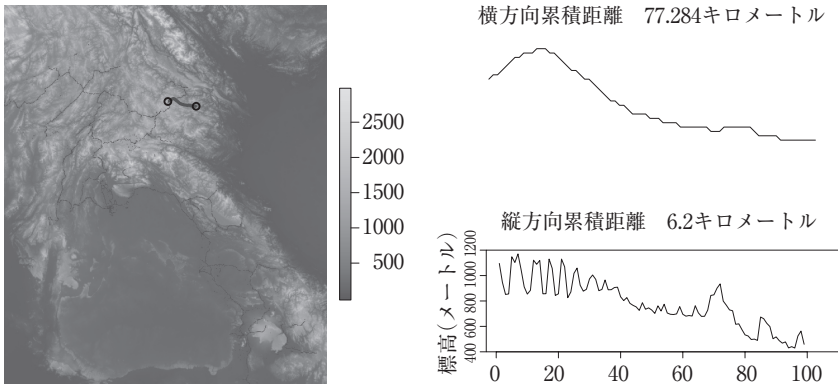
に限定したことも影響した可能性もある。いずれにせよ、道路のシェープファイルと標高など地理のラスタデータがあれば、機械的に計算できるメリットは、対象地域が今後大きくなっていく IDE-GSM におけるデータ整備に

図 6-10 表面コストラスタによる
輸送コスト計算



(出所) 筆者作成。

図 6-11 道路ネットワークと標高を考慮した距離



(出所) 筆者作成。

(出所) 筆者作成。

活用していく余地は大いにある。一方、縦方向の総移動距離は、約7キロメートルとなっている。これは飛行機の飛行高度に匹敵する高さで、トラックなどのスピードに大きな影響を与えることは明らかである。この縦方向の累積距離をモデルにどのように反映するかは、標高がスピードに与える影響などの先行研究の調査、あるいは実証実験が必要と思われるが、現実を反映するデータを機械的に計算することができることを示した。

第5節 まとめ

IDE-GSMは、モデルの改良、パラメータの推計、データの整備を同時並行的に進めながら、さらに、その応用について、国際機関などからのニーズを実現するかたちで開発が進められてきた。今後、農業財への輸送費の導入、より多くのパラメータを自ら推計すること、アフリカなど新しい地域への応用を可能にするためのリモートセンシングを利用したデータ整備などが計画されている。

より長期的には、経済地理データの蓄積と計算能力の向上を利用して、シミュレーションの精度を高めることができる。2時点以上の経済地理データが整備されることで、シミュレーション内のパラメータのいくつかは、シミュレーション内で推計できるようになる可能性がある。また、シミュレーションで予測された人口・産業の分布と実際のデータを比較することで、さまざまな改良の手がかりを得ることができるだろう。計算能力が向上すれば、各種パラメータについて、幅をもたせて複数回のシミュレーションを行い、結果にもまた幅をもたせて公表することが容易になる。

IDE-GSMには、モデル、パラメータ、データのすべてにおいて、さらなる改善の余地があり、今後もより信頼性の高いシミュレーションモデルとなることをめざして継続的な開発を進めていく必要がある。

〔注〕 _____

- (1) 宇宙航空研究開発機構が2011年に発表した資料の中に想定されたりリモートセンシングデータの利用者は、資源探査、農林業、環境、そして、防災関連分野であった。

〔参考文献〕

<日本語文献>

- 岡部篤行 1998. 「空間情報科学の展開」 CSIS Discussion Paper No. 1.
 柴崎亮介・村山祐司 2009. 『社会基盤・環境のための GIS』 朝倉書店.
 日本リモートセンシング学会 2011. 『基礎からわかるリモートセンシング』 理工図書.

<英語文献>

- Armington, P. 1969. "A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production." *International Monetary Fund Staff Papers*, XVI: 159-178
 Croft, Thomas A. 1978. "Night-time Images of the Earth from Space." *Scientific American* 239(1): 86-97.
 (http://ngdc.noaa.gov/eog/pubs/Croft_SRI_1979.pdf 2013年3月アクセス).
 Doll, Christopher N.H., Jan-Peter Muller and Jeremy G. Morley. 2006. "Mapping Regional Economic Activity from Night-Time Light Satellite Imagery." *Ecological Economics* 57(1): 75-92.
 Elvidge, Christopher D., Kimberley E. Baugh, Eric A. Khin, Herbert W. Kroehl, Ethan R. Davis and C. W. Davis 1997. "Relation Between Satellite Observed Visible-Near Infrared Emissions, Population, Economic Activity and Electric Power Consumption." *International Journal of Remote Sensing* 18(6): 1373-1379.
 Ghosh, Tilottama, Rebecca L. Powell, Christopher D. Elvidge, Kimberly E. Baugh, Paul C. Sutton and Sharolyn Anderson 2010. "Shedding Light on the Global Distribution of Economic Activity." *The Open Geography Journal* 3: 147-160.
 Hall, Ola 2010. "Remote Sensing in Social Science Research." *Open Remote Sensing Journal*. 3. (<http://dx.doi.org/10.2174/1875413901003010001>)
 Henderson, J. Vernon, Adam Storeygard and David N. Weil 2012. "Measuring Economic Growth From Outer Space." *American Economic Review* 202(2): 994-1028.
 Keola, Souknilanh, Magnus Andersson and Ola Hall. 2015. "Monitoring Economic Development from Space: Using Nighttime Light and Land Cover Data to Measure Economic Growth." *World Development* 66: 322-334.

- Kumagai, Satoru, Toshitaka Gokan, Ikumo Isono and Souknilanh Keola. 2007. "Geographical Simulation Model for ERIA: Predicting the Long-run Effects of Infrastructure Development Projects in East Asia." *Infrastructure Development in East Asia, ERIA*: 360-393.
- . 2008. "The IDE Geographical Simulation Model: Predicting Long-Term Effects of Infrastructure Development Projects." IDE Discussion Papers No.159.
- Kumagai, Satoru and Ikumo Isono. 2011. "Economic Impacts of Enhanced ASEAN-India Connectivity: Simulation Results from IDE/ERIA-GSM." *ASEAN-India Connectivity: The Comprehensive Asia Development Plan, Phase II*, ERIA Research Project Report 2010-7, ERIA: 243-307.
- Kumagai, Satoru, Kazunobu Hayakawa, Ikumo Isono, Souknilanh Keola and Kenmei Tsubota. 2013. "Geographical Simulation Analysis for Logistics Enhancement in Asia." *Economic Modelling* (forthcoming).
- Sutton, Paul C., and Robert Costanza 2002. "Global Estimates of Market and Non-market Values Derived from Nighttime Satellite Imagery, Land Cover and Ecosystem service Valuation." *Ecological Economics* 41 (3): 509-527.
- Tabuchi, T., J.-F.Thisse and X. Zhu, 2014. "Technological Progress and Economic Geography." eCEPR Discussion Paper No. 9901.

<ウェブサイト>

DMSP-OLS

<http://ngdc.noaa.gov/eog/download.html>

Geo-Economic Dataset For Asia (GEDA)

<http://www.ide.go.jp/English/Data/Geda/index.html>

Global Administrative Unit Layers (GAUL)

<http://www.fao.org/geonetwork/>

Global 30 Arc-Second Elevation (GTOPO30)

<https://lta.cr.usgs.gov/GTOPO30>

Landscan

<http://web.ornl.gov/sci/landscan/>

MODIS の土地被覆データセット

<http://modis-land.gsfc.nasa.gov/>

National Atmospheric and Administration (NOAA)

<http://ngdc.noaa.gov/eog/services.html>

NASA's Observing System Data Observing System (EOSDIS)

<http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/>

Social Economic Data and Application Center (SEDAC)

<http://sedac.ciesin.columbia.edu/>

Steering Committee for Census of Population and Housing 2005 (非公開データ)

WDI (World Development Indicators)

<http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>

