

第6章

時空間情報と人文社会科学：

リモートセンシングとIDE-GSMへの応用の可能性

ケオラ・スックニラン

第1節 背景

岡部(1998)によれば、世界を表現する枠組みとして、「時間」と「空間」が存在する。しかし古来より多くの学問では前者に重点が置かれてきた。哲学者、そして、地理学者でもあったカントが18世紀に、地理学こそが知識を統一すると主張し、再び空間に光を当てたが、今日までそれが実現した状況には至っていない(岡部[1998])。空間に着目した研究が発展しにくかったもっとも大きな理由は、普遍的な枠組みが存在しなかったことにある。暦によって古来より共通した時間軸があったのに対し、アジアやアフリカでは、20世紀に入ってから、正確な行政地図が整備されていない国が多く存在する。このような状況では、たとえば、歴史的な資料、または、現地調査の結果などの情報があったとしても、それを普遍的な空間の物さしによって、比較、分析をすることが極めて難しかった。換言すれば、事象の空間的な側面を研究に取り入れるには、普遍的な空間情報の整備が大きな壁となっていた。

これを大きく変えたのは、1950年代末に出現した人工衛星と1990年代より急速に発達した携帯通信端末である。1957年に旧ソ連が初めて打ち上げに成功して以来、現在までに約7000の人工衛星が打ち上げられた。人工衛星は、二つの方法で、普遍的な空間軸の構築に貢献した。一つは、地球からみて正確な場所と時間が分かる人工衛星に搭載されたセンサーによって得られた情報自体が高精度な時空間情報である。直ちに人文社会科学での活用が難しいものが多いものの、人工衛星によって大量の時空間情報が提供され始めたのである。この衛星から得られたデータが、一般に、リモートセンシングデータと呼ばれている。もう一つは、人工衛星からの信号を活用し、1970年代に実用化されたGPS(Global Positioning System: 全地球測位網)によって、地上のどこでも容易に普遍的な時空間軸を参照することが可能になった。2000年代からは、GPS技術が内蔵された携帯通信端末が急速に普及したことにより、時空間情報が爆発的に蓄積され始める。一方、学術の世界では、1990年代から「地理情報科学(Geographical Information System: GIS)」と呼ばれる学問分野が、

学際的なディシプリンとして存在感を増した（柴崎・村山[2009]）。これにより、対象の時間と空間の側面に、切り込む研究を推し進める環境が整えられたのである。

本稿の目的は、次の三つからなっている。一つは、時空間情報とは何か、また人文社会科学における活用する方法、制約、そして、可能性を整理することである。もう一つは、人文社会科学に活用が期待できる主なリモートセンシングデータを、具体的に紹介することである。最後に、リモートセンシングデータを用い、Kumagai et al. (2008) より行われるシミュレーション分析に必要な地域データを作成する方法について、考察をすることである。本稿は、次のように構成されている。第2節では、時空間情報が構築される方法により分類し、それぞれの現状と可能性について考察を行う。第3節では、主に無償で入手可能なリモートセンシングデータとその利用可能性を紹介する。第4節では、IDE-GSMに必要な地域データの作成における、リモートセンシングデータ活用の可能性を考察する。第5節では、本稿全体の結論をまとめる。

第2節 時空間情報と人文社会科学

時空間情報とは、簡単に言えば、時間と空間が特定できる情報、またはデータである。人文社会科学で使われる情報は、例えば行政報告、報道、調査によって得られるデータである。しかしこれらのデータは、時間情報しかない、または空間情報に比べて時間情報が圧倒的に正確なものが多い。現地調査ならば、通常日単位の時間情報が付加される。GDP（Gross Domestic Products:国内総生産）など社会経済の多くは、時間情報が1年単位で特定できる。しかし、数平方キロメートルから、数千平方キロメートルの広い国土の中で、どれぐらいがどこで生み出されたかの空間情報はほとんど含まれていない。これは、上述の通り、普遍的な時間軸が古くから存在したのに対し、普遍的な空間軸が近年までなかったことに起因する。同じ暦を利用すれば、少なくとも日単位まで統計を記録することができるが、GPSが登場するまで、人文社会学者が現実につけ加えられる空間情報は、地名、行政単位などに限定された。しかし、行政単位の広さは大小様々なうえ、統廃合によって変化することもしばしばである。天体の位置や時計を組み合わせる方法など、場所を正確に記録する方法がまったくなかったわけではないが、人文社会学者にとって、現実的に活用できるものではなかったのが実情である。本節では、時空間情報を、その構築過程において、センサが対象物と接触するかどうかによって、①リモートセンシングデータ、そして、②その他の時空間情報に分け、人文社会科学のデータとして、それぞれの長短所を考察する。前者は、航空写真、衛星画像などに代表されるように、遠隔にあるセンサが、対象物の情報を収集するリモートセンシングによって、作られる時空間情報である。後者は、例えば、トラック、情報機器、携帯端末などに設置されたセンサが発信する情報が挙げられ

る。これらのデータについては、センサ自体が発信する時間や位置情報以外にも、人間によって行われた操作、または書き込まれた情報なども、必然的に時空間情報になる。

2.1 リモートセンシングデータ

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、主に衛星に搭載されたセンサが、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年にジャーナリストであるNadar氏が、飛行船からパリ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主な方法であったが、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。例えば、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、いつか越えられない壁が存在する。第1に、少人数の研究が一般である人文社会科学者にとっては、高価なリモートセンシングデータそのものの購入することが極めて難しいという、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、近年これらの壁が急速に低下している。例えば、国内では、例えば2007年に、衛星測位によって性格な位置情報を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、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、例えば世界規模の分析なら、以前は入手に数億ドルを必要としたデータが、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が進展しはじめた。これと並行して、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。この二つの環境変化により、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。

2.2 その他の時空間情報

¹ 同上。

インターネットに加え、GPS及びこれを利用した携帯通信端末が普及した2000年代以降は、時空間情報が溢れていると言っても過言ではない。2013年現在では、契約されている携帯電話の台数は、全世界で約70億台弱である²。これは、世界の人口とほぼ同じ水準である。もちろんこれらすべてに、GPSロガーが搭載されているわけではないが、通常の携帯電でも基地局などから時空間情報が記録され、収集可能になっている。これに加え、様々なSNS (Social Network Service) の利用者は、合計で十億人を超える。これらのデータには位置情報以外に、書き込みなどの活字情報も多く含まれる。政府機関や企業が早くから、携帯通信端末のデータを世論、消費者動向の監視、分析に活用してきたことは周知の事実である。例えば検索エンジンの大手であれば、検索のキーワードにより、いつ、どこで、どんな情報が求められるか、ほぼリアルタイムで知ることができる。しかし、本稿の主要な目的の一つは、地域データの作成であるため、リモートセンシングデータ以外の時空間情報は、人文科学分野でも今後重要な時空間データとして利用される可能性が高いことを指摘したうえで、簡単な紹介にとどめることとしたい。

第3節 リモートセンシングによって生成された人文社会科学データの事例

人文社会科学によって行われ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、主に費用と時間コストから、頻度及び網羅率が低くなる傾向がある。もっといえば、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。一方、リモートセンシングは、広範囲をはるかに短期間で網羅できる一方、直接的に得られる情報が浅くなる。例えば土地被覆データが生成されるMODISであれば、全世界を一日で約2回網羅している。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、分析に使えるとは言えない。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。

本節では、人文社会科学のデータを補完できるいくつかのリモートセンシングデータを紹介する。リモートセンシングは、上述の通り、衛星を活用したものが主流である。したがって、衛星画像などから人文社会科学のデータを作成する試みは、多くの衛星を打ち上

² ITU 統計 (<http://www.itu.int>)。

げた一部の先進国を中心に進展している。リモートセンシングデータが入手可能な主な機関として、EOSDIS (NASA's Observing System Data Observing System) に加え、NOAA (National Atmospheric and Administration)、コロンビア大学の Social Economic Data and Application Center (SEDAC) などが挙げられる³。ここで、いくつかのデータを紹介したい。

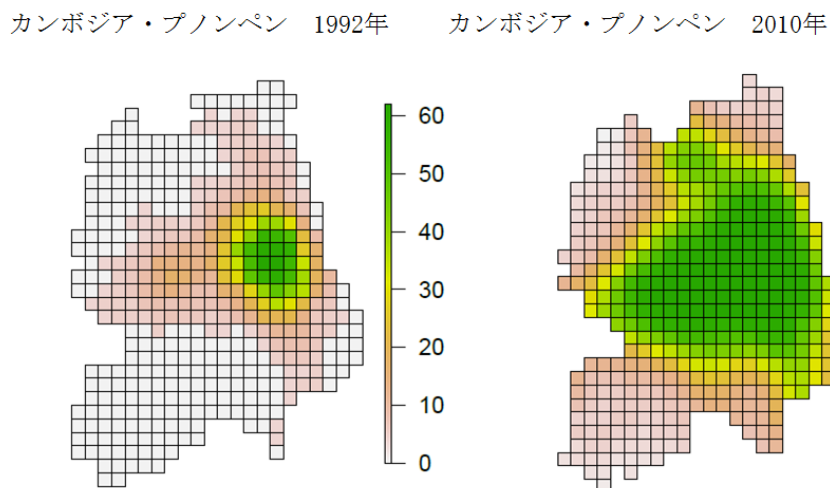
3.1 人工夜間光

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 6-1 は、気象衛星が雲の状況を調べるために、観測した人工夜間光である。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されたものを意味する。人工夜間光のデータは、一つ一つのグリッドには、光が観測されてない 0 から、もっとも強い 63 までの値が入る。その後、1997 年に Elvidge et al. が観測された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 か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 GDP を推計した。分析したのは、EU11 か国及びアメリカの州レベルの GDP 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 GDP 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 平方キロメートルの全世界の GDP データを推計した。Henderson et al. (2012) は、それ以前の一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 GDP の関係を推計した。本章の第 4 節に示すリモートセンシングデータの活用事例では、この Henderson らの枠組みを参考に、夜間光と土地被覆データを使い、地域別の GDP 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 から 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 GDP のような地上の経済活動規模を表す指標の関係を決定することができれば、国よりも小さい行政単位別の GRP (Gross Regional Products: 地域総生産) を推計することが可能である。

³ <http://sedac.ciesin.columbia.edu/>

図6-1 人工夜間光の時空間データ

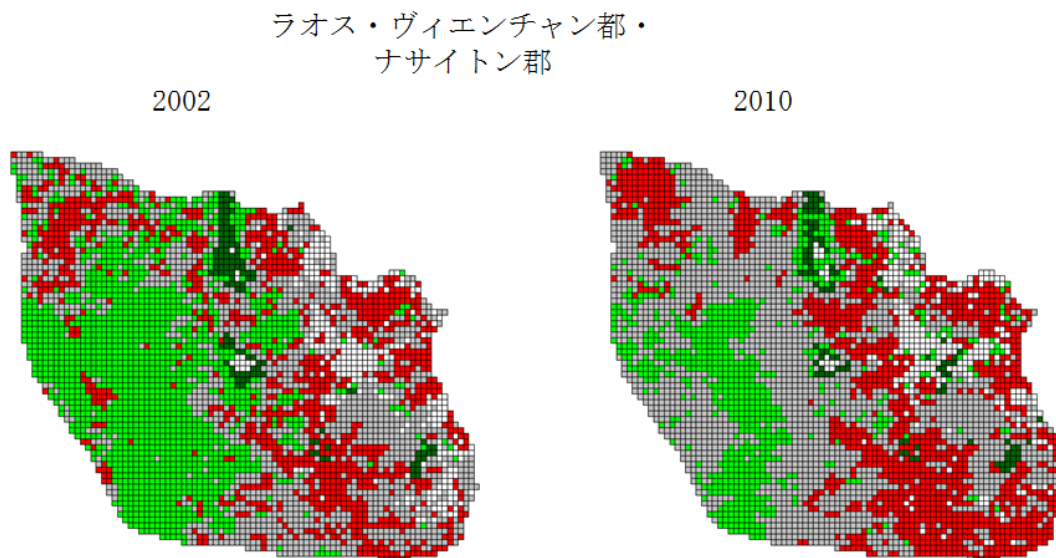


(出所) NOAA に基づき筆者作成

3.2 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(図6-2)。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。光の反射などをもとに、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、土地被覆を判断をする。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1つの土地被覆に分類されるため、強さのデータを含む夜間光観測に比べれば、結果が若干不安定である。しかしながら図2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(緑色)が、2010年には大きく減少した結果が表れている。反対に市街地(赤色)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、耕地と判断された濃い緑色の部分は、あまり変化していない。土地被覆の精度は約70%と言われているが、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、例えば、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分かれば、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。

図6-2 土地被覆の時空間データ



(出所) NASA に基づき筆者作成

(注) 緑：森林、濃い緑：耕地、赤：市街地

第4節 IDE-GSM への応用の可能性

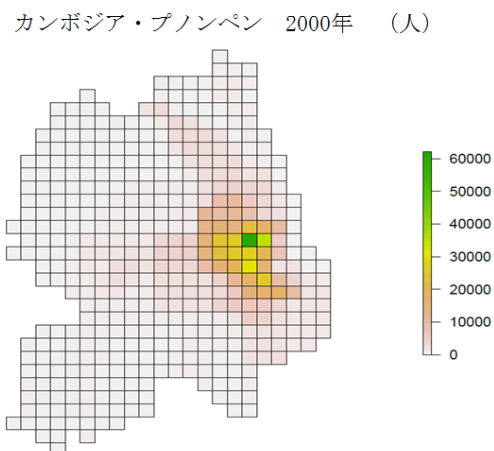
IDE-GSM に必要なデータは、人口データ、産業別付加価値データ、そして、ルートデータである。人口と産業別付加価値データについては、行政データに依存する部分が多いのが現状である。アジアに限定すれば、人口データはほとんどの国で手に入る。しかしミャンマーのように、政情不安により長年国勢調査が実施できない国の場合、存在しない場合もある。また、IDE-GSM が地域別データの整備が遅れているアフリカなどに拡大する場合、行政データにだけ依存することができなくなる恐れもある。産業別付加価値データは、地域データの作成がもっとも困難であると言える。先進国を除けば、国より小さい行政単において、IDE-GSM が必要とする7部門の産業別付加価値データは、ほぼ存在しないからである。現状では経済センサスや企業センサスにある産業別就労者数などで、製造業の付加価値を各産業に案分している。ルートデータは、公開されている地図などからそれぞれ

の都市がどのようなルートでつながっているかを作成していく。いずれも、今後の対象地域の拡大に伴い、手作業による地域データの作成が、ますます困難になることが予想される。しかしルートデータについては、2 地域間の距離が一意的である必要があるなど、必ずしも実際の道路ネットワークと一致しない。リモートセンシングによって、ルートデータを作成していくには、一定以上の機械的なメカニズムが必要なため、本稿では対象外とする。そこで本節では、これらのうち、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。

4.1 地域別人口

人口データは、もっとも重要な社会経済統計の一つである一方、国家などが通常最初に整備する行政データでもある。また、GDP、保健、教育などの一人当たり統計作成にとっても、欠かせないデータである。人口統計には、通常、時間情報が付加されている。行政区分の対象や、調査期間によって、数日間から、長くても数年が通常であろう。今日の国家であれば、一つの国勢調査は一年以内に終わるため、調査が行われる年であれば、一年単位で人口規模を知ることができる。しかし、空間軸については、あいまいな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6-3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。

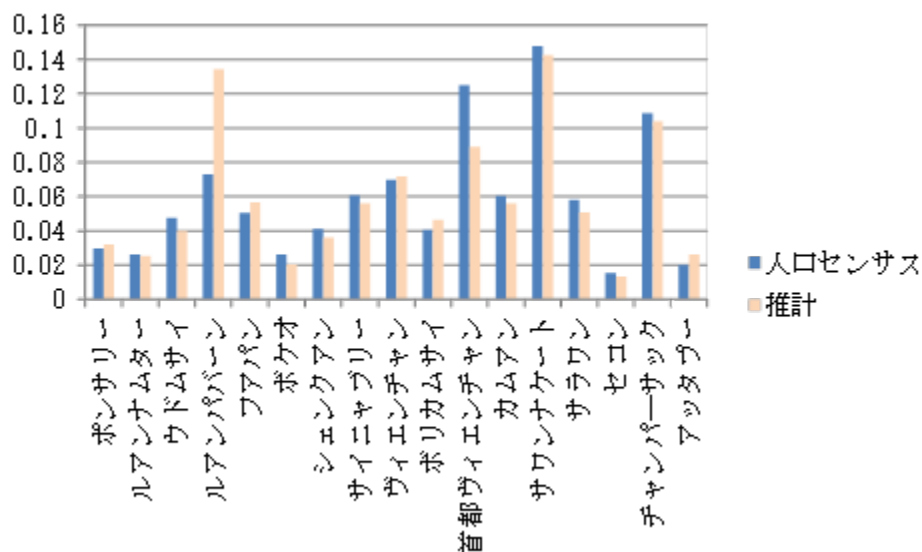
図6-3 人口の時空間データ



(出所) SEDAC に基づき筆者作成

図6-4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を SEDAC から集計したものとシェアで比較したものである。世界遺産に登録され、一時滞在者がおおいルアンパバーンと、人口規模に対し、面積が極端に小さい首都以外は、誤差が小さい結果となっている。SEDAC の同統計は予測を含め、1990 年から 2015 年まで 5 年おきに公開されている。これ以外にも、リモートセンシングを中心に作成されている世界規模の人口データとして Landsat がある。SEDAC 統計のように無償ではないが、2000 年から年次の人口統計が存在する。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る。

図6-4 調査及び推計によるラオスの県別人口シェアの比較 (2005年、単位：%)



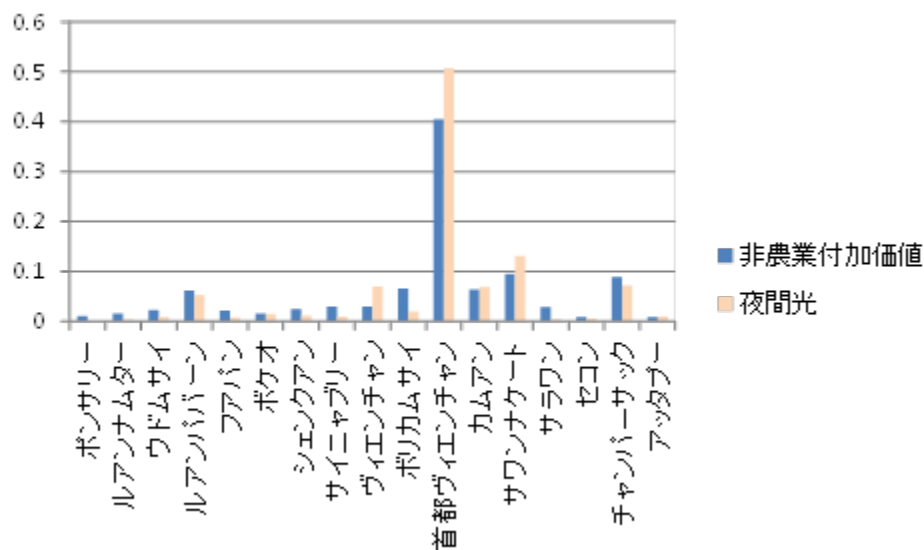
(出所) Steering Committee for Census of Population and Housing 及び
SEDAC に基づき筆者作成

4.2 地域・産業別付加価値

最新版の IDE-GSM 使われる地域・産業別付加価値データは、農業、サービス業と 5 部門の製造業からなっている。製造業は、縫製、電気・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・産業別付加価値の作成手順は、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。大まかに言えば、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案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、第 3 節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、なんらかな指標で案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。このなかでもっと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。先行研究から夜間光とGDPが高い、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あれば、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、観測値がゼロとなる指標は避けるか、なんらかの対策が必要と言える。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6-5 非農業及び人工夜間光シェアの比較（2005年、単位：%）

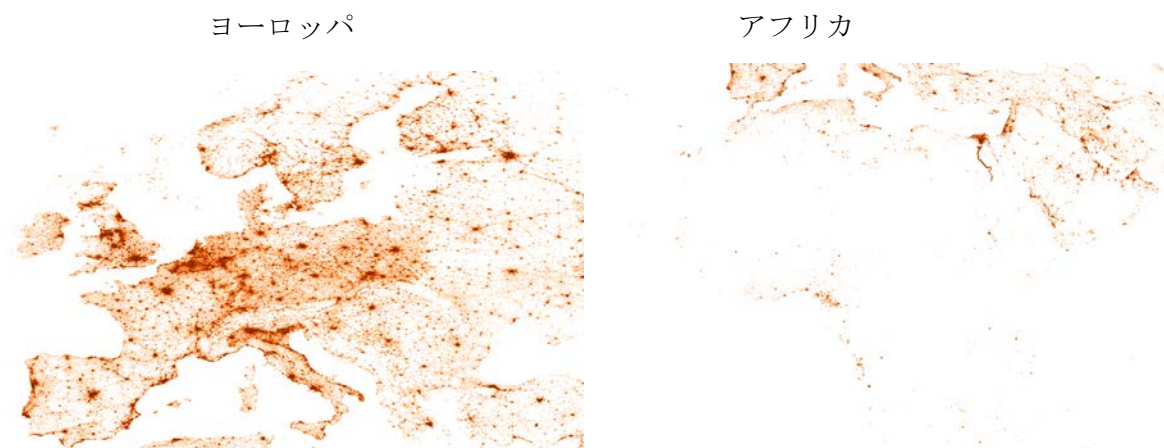


(出所) Steering Committee for Census of Population and Housing 及び NOAA に基づき筆者作成

図6-5から非農業部門のシェアは、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見て取れる。これは先行研究などでもすでに確認している点である。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小さ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。図6-6にヨーロッパ及びアフリカにおいて観測された人工夜間光を示している。白は光が観測されていないことを示す。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し、アフリカでは大陸全体がほぼ真っ暗であることが分かる。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かならず存在するため、人工夜間光以外の指標が必要といえる。

図6-6 ヨーロッパ及びアフリカにおける人工夜間光 (2010)

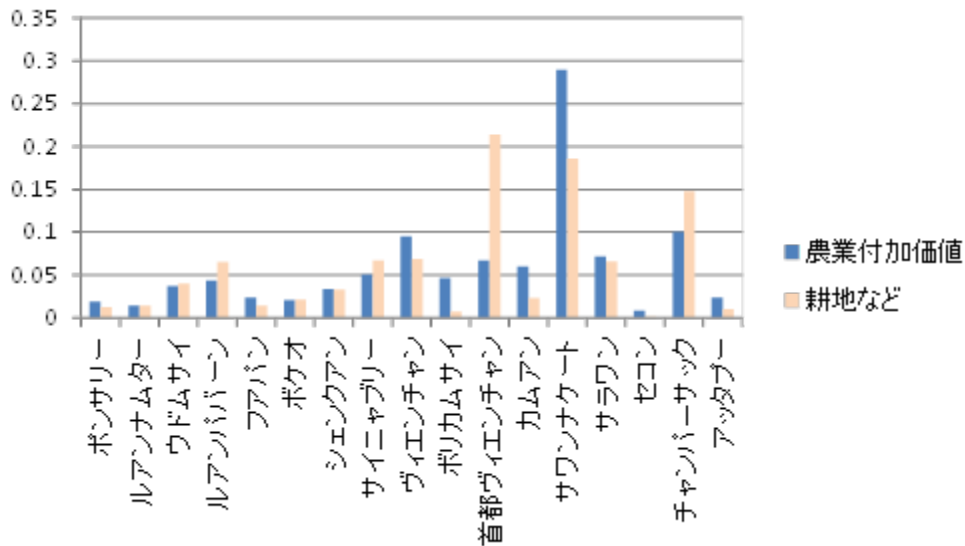


(出所) NOAA に基づき、筆者作成。

図6-7に、耕地など(耕地+草原+低密度植生)のシェアと農業付加価値のシェアを示している。緑地の多くが、農業以外に使われる首都では、耕地などのシェアが農業のシェアを大きく上回る。一方、サワナケートのように農林業が盛んな県では、耕地等以外の緑地も農林業に使われているため、農業付加価値シェアが耕地などのシェアよりも大きくなる。しかしそれ以外は、耕地などのシェアと農業付加価値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、特定のカテゴリー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。例えば、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」が生じない処置を講じる必要がある。

図6-7 農業付加価値及び耕地などシェアの比較（2005年、単位：％）



（出所）IDE-GSM 及び EOSDIS に基づき筆者作成

表6-1 主要土地被覆の行政区別観測率（2001-2010）

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

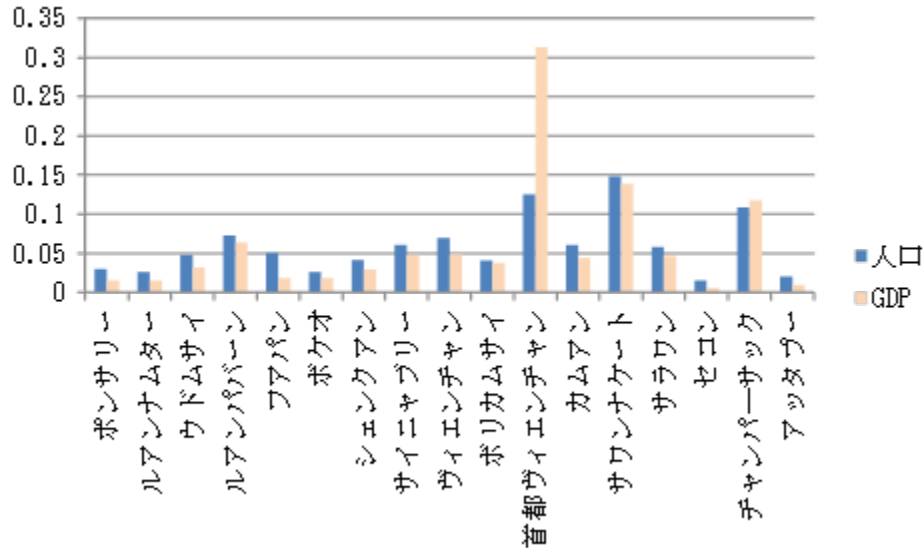
（出所）EOSDIS に基づき筆者作成

（注）行政区別は GAUL の第2行政レベル（ADM2）を指す。

ここまで検討したリモートセンシングデータは、一般に、下層の行政区にいけば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。しかし人口はほぼすべて行政区で存在する。また図6-7にあるように、人口規模も、そこで算出される GDP

の規模と高い相関をもっている。欠点は、工業化が国内の他の地域に比べ、圧倒的に進展する首都では、GDPシェアが人口規模に比べ、著しく大きくなることである。

図6-8 GDP及び人口シェアの比較(2005年、単位：%)



(出所) IDE-GSM 及び Steering Committee for Census of Population and Housing
に基づき筆者作成

第5節 今後の展望

時空間データ、特に、空間データの利用が人文社会科学分野にも広がりつつある。今後、どのように、人文社会科学分野における時空間データを作成するかが重要な課題となっている。本稿は、リモートセンシングデータを使って、行政データなど地上での調査から得られるデータを補完する方法で、人文社会科学分野で利用可能な時空間データを作成することを提案し、その可能性を考察した。これまでの検討の結果、IDE-GSM のデータ整備に有用と思われるリモートセンシングデータは、①人口のグリッドデータ、②人工夜間光、そして、③土地被覆データであることが分かった。地域データを作成する際のそれぞれの長短所は以下の通りである。人口は就業分野によって付加価値への貢献が大きく異なる。しかし行政区別の集計である限り、データの欠損はほぼない。人工夜間光や土地被覆では、すべての行政単位で観測されないため、欠損が生じる。したがって、少なくともこの三つの異なったデータを活用すれば、農業、非農業という大まかな区分の地域データを半自動的に生成することが可能である、という結論になる。

参考文献

<和文>

- 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。

<英文>

- Croft, Thomas A. 1978. "Night-time Images of the Earth from Space." *Scientific American* 239: 68–79.
- Croft, Thomas A. 1999. "The Brightness of Lights on Earth at Night, Digitally Recorded by DMSP Satellite." Final Report Prepared for U.S. Geological Survey.
Accessed in March 2013 at http://ngdc.noaa.gov/eog/pubs/Croft_SRI_1979.pdf
- 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.
- Friedl, Mark A., Damien Sulla-Menashe, Bin Tan, Annemarie Schneider, Navin Ramankutty, Adam Sibley and Xiaoman Huang. 2010. "MODIS Collection 5 Global Land Cover: Algorithm Refinements and Characterization of New datasets." *Remote Sensing of Environment* 114: 168–182.
- 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: 148–61.
- Hall, Ola. 2010. "Remote Sensing in Social Science Research." *Open Remote Sensing Journal*. 3.
- Henderson, J. Vernon, Adam Storeygard, and David N. Weil. 2012. "Measuring Economic Growth From Outer Space." *American Economic Review*. 202(2): 994–1028.
- Kumagai, Satoru, Toshitaka Gokan, Ikumo Isono, and Souknilanh Keola. 2008. "The IDE Geographical Simulation Model: Predicting Long-Term Effects of Infrastructure Development Projects", IDE Discussion Papers No.159.
- Kumagai, Satoru, Kazunobu Hayakawa, Ikumo Isono, Souknilanh Keola, and Kenmei Tsubota. 2013. "Geographical Simulation Analysis for Logistics Enhancement in Asia", Forthcoming in

Economic Modelling.

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.

<ウェブサイト>

Social Economic Data and Application Center (SEDAC)

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

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/>

Global Administrative Unit Layers (GAUL)

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