

GISの人類生態学への応用

梅崎昌裕(東京医科歯科大学)

GIS(Geographic Information System; 地理情報システム)は, 衛星リモートセンシング, GPS(Global Positioning System; 汎地球測位システム)と並んで, 空間情報科学を構成する技術であり, 近年, 著しい発展をとげつつある. 人類生態学の分野においては, (1)研究の対象とする集団をとりまく環境の定量的評価を可能とするだけでなく, (2)追跡研究のプラットフォーム, (3)異なる目的で収集されたデータベースを地理的変数を軸にしながらか統合するためのツールとしての利用, さらには(4)空間統計解析による地理的パタンの抽出などにおいて応用が始められている.

1. 人類生態学とGISの接点

2002年に刊行された教科書(大塚ほか, 2002)にも明らかなように, 人類生態学は個別の方法論というよりも概念的に規定された学問であり, 対象とする分野も多彩である. 人口学とのかかわりでいえば, 出生・死亡・移動などの人口学的変数が人類生態学において集団の適応指標のひとつとしてとらえられる. 出生と死亡のバランスが置き換え水準を維持することが集団が存続していくための前提条件であり, 移動は集団が分集団をつくり新しい居住地を獲得する適応のプロセスでもある. 労働, 食物摂取, 栄養・健康の状態, 社会的な規範をはじめとするあらゆる生態学的要因が出生あるいは死亡のパターンと密接な関連をもっていることを念頭におきながら, 環境とのかかわりにおいてヒトの生存メカニズムを解明することが人口学からみた場合の人類生態学の目的であるといえよう(鈴木, 1980; Ohtsuka, 1994). これは, 逆の見方をすれば, 人口についての個別の研究課題にとりくむための視点あるいはフレームワークとして, 人類生態学に現実的な意義があることも意味している(例えば, 大塚ほか, 2002).

GISは地理情報をコンピュータで系統的に取得・構築・管理し, その地理情報をつかって分析を行い, 解析結果をまとめ, 表示・伝達する方法および方法論を研究する学問である(野上ほか, 2001). 人類生態学の分野においては, 環境の人口支持力を定量化する方法, ヒトの居住パタンの地理的解析, 地図などの存在しない調査地における地図作製・測量, 追跡研究のためのプラットフォームなど, 主にフィールドワークの補助手段として, リモートセンシング, GPSの技術を含めた広義のGISについての利用可能性が検討されている. 本稿では, 具体的な方法論を紹介することを目的として, 著者自身がかわってきた3つの取り組みにおいてGISが研究のどの部分に利用されてきたかを紹介したい.

なお、関連する文献として、Evans and Moran (2002)の論攷は、人間-環境系の研究におけるGISの役割を論じており興味ぶかい。GISの一般的な概念・方法については、野上ほか(2001)及びVerbyla (2002)、リモートセンシングの基礎については、長谷川(1998)、日本リモートセンシング研究会(2000)、Wilkie and Finn (1996)、Tso and Mather (2001)、Lillesand and Kiefer (2000)などに詳しい。金田ほか(2001)にはGISソフトウェア、GIS関連ホームページなど、GIS研究についての実用的な情報が含まれている。また、Fox *et al.* (2003)、Liverman *et al.* (1998)には人類生態学、人口学、地理学におけるGIS／リモートセンシングの応用として、アマゾン、ケニア、タイなどにおける具体的な研究成果が紹介されている。

2. 地理的変数を軸としたデータベースの統合：パラオ共和国の事例

パラオ共和国は1994年の独立以降、アメリカ合衆国との自由連合協定のもと、首都移転に代表されるインフラ整備をすすめている。首都移転は、人口集中のすすんだコロール島から人口密度の低いバベルダオブ島の中央部へ政府機能の大部分を移すものであり、それにともない新首都とコロール島を連絡する周回舗装道路が建設されている。著者の所属する東京医科歯科大学とパラオ政府厚生省環境保健局は、大規模インフラ整備にともなう人口学的インパクト、特に人口移動への影響と、自然環境・社会環境、ライフスタイルの変化にともなう健康影響の解明を目的とした共同プロジェクトを2002年度より立ち上げている。基本的なアイデアは、GISを利用することによって、パラオ側がこれまでに収集してきた環境、健康、社会、経済にかんする様々なデータベースを統合し、それらの相互関係を整理した上で、インフラ整備の進展にともなう変化を追跡するためのプラットフォームとして機能させることである。パラオ共和国においては、1983年に刊行された地図をもとにしたGISデータベースが完備されており、その中には道路、河川、海岸線、土地利用、等高線、10メートルメッシュの標高値、行政上の境界線、土壌の種類などのデータが格納されている。これに、1999年に撮影されたランドサット衛星ETM+データの分析結果を重ね合わせることで、1980年代から20年間におけるインフラ整備・土地利用の変化を把握し、また首都移転と周回道路建設の環境保健的な影響評価を行うためのベースとした。さらに、パラオ政府の環境保健局がこれまで収集したデータのなかから、世帯レベルの衛生状態、飲食店の衛生状態、デング熱の発症記録などを地理的情報を軸にデータベースに統合した。異なったデータベースを世帯レベルで対応させることができない場合は、その世帯の所属する集落(パラオではハムレットと呼ばれる)、あるいは州を単位としてデータの対応を図った。人口の8割近くが居住する首都コロールについては、超高解像度衛星であるクイックバード(解像度60センチメートル)を利用することで、世帯あるいは飲食店の正確な位置情報を把握することが可能となっている。

予備的な検討によると、デング熱の発症した54人をケースとして、性、年齢、居住地をマッチングさせた同数のコントロールを選び、それぞれの個人の世帯にかんする衛生状態の比較を行ったところ、デング熱を媒介する蚊の発生場所と考えられる台所及び水浴び場の衛生状態がデング熱の発症した個人の家屋において有意に悪いという結果が得られている。これは、今後の人口移動にともなう家屋の建て替えなどによってその衛生状態が変化した場合に、それがデング熱発症に影響する可能性を示唆するものである。今後は、2000年度に実施された国勢調査の世帯個票をGISデータベースに統合しそれをプラットフォームとすることで、それぞれの世帯における出生・死亡・移住のモニタリングを継続する予定である。また、パラオ政府の環境保健局が日常的に実施しているデング熱発症にかんするモニタリングデータをGIS上で管理し空間統計解析を適用することによって、感染源の特定・感染ルートの解明などに寄与できると期待している。

3. 人口と食料生産のバランス評価：パプアニューギニア高地の事例

パプアニューギニア高地に居住するフリの人々は、3000メートル級の山に囲まれた盆地において、サツマイモ耕作を主たる生業としながら生存している。ここ数十年間は、年増加率2%を超えるペースで人口が増加しており、盆地の大部分では1平方キロメートルあたり人口密度が100を超えている。特に、飛行場のある盆地の中心部では1平方キロメートルあたり人口密度が400を超える場所もあり、持続的な食料生産の維持が人々の直面する課題である。

フリ人の居住地は生態学的に2つに分けることが可能である。ひとつは火山灰におおわれた斜面の多い地域で、ここでは5～10年の耕作期間のあと10～15年間の休耕期間をおくことによってサツマイモが耕作されてきた。もうひとつは、河川沿いに広がる湿地帯を中心とした地域であり、ここの畑では休耕期間をおくことなく持続的なサツマイモ耕作が続けられてきた。1990年代に行った著者の研究では、地域における人口増加が人々の生存に及ぼす影響を具体的に明らかにすることを目標に、斜面の多い地域と湿地帯からそれぞれ1つの村落を選び、人々の生態学的な側面について比較を行った。その結果、(1)人口あるいは食料需要の増加は、2つの対象村落とも同じ程度であった。(2)斜面の多い地域では、食料需要の増加に対する短期的な対応策としてサツマイモ耕作の休耕期間を短縮させたために、単位面積あたりのサツマイモ生産量が低下し、それを補うためにさらに休耕期間を短縮させるという悪循環がみられた。対照的に、(3)湿地帯の村では、休耕期間をそもそも必要としない耕作システムにより、食料需要の増大には耕作面積を拡大することで対応することが可能であった。ただし(4)湿地帯の村では、土地資源への需要が増大したことで、潜在的な耕作地の大部分が耕作権をめぐる裁判の対象となりつつある。(5)長雨によってサ

ツマイモ生産性が低下した時期に、斜面の村の人々が食料不足に陥ったのに対して、湿地帯の村では食料不足が発生しなかった。これはふだんの余剰生産量の違いによって説明できる(梅崎, 2002)。

この分析の中心になったのは、経時的な人口の移り変わり及び土地利用の変化についてのデータである。タリ盆地では1970年代に医学研究所が設立され、1980年から1993年にかけてのべ4万人を対象に出生・死亡・移動にかんするデータが収集されている。また1970年代の終わり頃、世界銀行の主導による農村開発プロジェクトが行われ、その基礎資料として1:9000縮尺のカラー航空写真が盆地全体を対象に撮影された。分析においては、それぞれの村落で収集した家系図と医学研究所の人口データをつきあわせることによって1980年から調査時点までの人口動態と人口の変化を把握した。また、航空写真の目視判読(リモートセンシングのひとつの技術)によって、極相林、耕作中の畑、休耕地、湿地の4カテゴリーからなる1978年時点の土地利用図を作成し、現在の土地利用との比較をおこなった。土地利用図は、幾何補正を行うことによってGISソフトウェアにとりこまれ、それぞれの土地利用カテゴリーの面積を計算することで土地利用変化を定量化するとともに、継続的な耕作パタン調査のベースマップとしても利用した。

人口変化の要因分析を行ったところ、この地域では人々が一生の間に何度も居住地を変えること、したがって移入数と移出数のバランスが村落の人口サイズを決定する重要な要因であることが明らかになった(Umezaki and Ohtsuka, 2002)。個別の村落調査からわかったのは、盆地の中に食料の足りない地域と食料の足りている地域があるということである。すなわち、現実的な対応策として足りない地域から足りている地域へ人々が移動しているのか、あるいは食料の足りない地域への歴史的な人口移動があったのかなど、それぞれの地域の食料生産と人口のバランスに対する人口移動の寄与を明らかにすることが、タリ盆地に居住するフリ全体の適応を理解するためには不可欠である。対象とした村落において家系図を再構成することで出生地と現住地／死亡地を比較した結果、1950年代に始まった近代化の初期に再生産期間を過ぎた世代では、盆地の周辺部(食料の足りない村の位置する地域)から中央部(食料の足りる村の位置する地域)への人口移動が多かったのに対して、若い世代ではむしろ盆地周辺部への人口移動が中央部への移動よりも多い傾向がみられた。このことは、村落調査で得られた知見を、盆地全体など、より大きな地域でおこっている変化の中に位置づけて見直してみる視点の重要性を示唆している。

人類生態学は「ヒトの集団としての環境への適応を解明すること」を主たる目標としている。この論理的な帰結として、村落などの小集団を対象に詳細なデータを収集しながらも、その結果を通婚圏を形成するような集団全体の適応というコンテストで位置づける努力が不可欠である。著者は、リモートセンシング及びGPSを含めた広義のGISは、人類生態学のこの部分に対して貢献する可能性があると考えている。タリ盆地における研究では、まず1972年に撮影されたランドサット衛星MSSデータ、1988年に撮影されたスポット衛星データ、1994年に撮影されたランドサット衛星TMデータ、2001年に撮影されたイコノス衛星データを

入手した。これらの解像度はMSSデータが80メートル、スポットデータが20メートル、TMデータが30メートル、そしてイコノスデータは1メートルである。したがって、MSS、スポット、TMの比較により、タリ盆地全体の自然環境あるいは人為的土地利用パターン(耕作地、休耕地)の変化を推定し、イコノスの分析により村落レベルの詳細な土地利用パターンの分析を行うことを想定した。さらに、村落の境界線、等高線、河川、道路のGISデータ(10万分の1縮尺の地図をもとにオーストラリア国立大学の人文地理学者が作成したものを)、衛星データと重ね合わせることによって、経時的な変化と地理的変数の両方を含むデータベースを構築した。GISデータベースの利点は、地理情報を軸とすることによって様々なデータベースを統合できることにある。タリ盆地において1980年から1993年にかけて収集された出生・死亡・移動にかんする人口データは、村落という地理情報を軸にして、GISデータベースに統合され、その結果、盆地の全体を対象に、衛星データの分析によって得られた村落ごとの耕作面積の変化と人口の変化の対応関係を検討するなどの分析が可能となっている。

一方で、イコノス衛星は解像度が高いために、村落のなかにある家屋、小道、畑の畝、排水溝などを判別することが可能であり、フィールドで収集されるデータと直接的に対応させることができるという利点をもっている。作物の混作パターン、斜度による耕作パターンの違いなど、食料生産の持続性に寄与する要因として人文地理学で理論化がすすめられている「アグロダイバシティ」の定量的な評価にも応用が期待されている(Brookfield, 2001)。

4. 政策としての環境保全の実効性： 中華人民共和国・海南省の事例

中華人民共和国・海南省は、1988年に広東省から独立し、中国政府より経済特区に指定された。このことで外国からの比較的自由的な資本投入が可能となり、それ以来、急速な経済発展を経験している。一方で、中国で唯一の亜熱帯植生を有する地域として、1980年代にはいくつもの自然保護区が設定されている。1990年代には、森林の再生を目的とした法律が施行され、許可された地域を除けば、伝統的な生業である焼畑農耕及び森林伐採が禁止されている。海南島の内陸部に位置する五指山市では、2000年より、日中合同の人類生態学調査を実施している。調査の過程で、過去20年間にわたり、この地域では政府の政策と自然環境が相互に影響を及ぼしながら大きく変化してきたことが明らかになった。すなわち、村人からの聞き取りによれば、かつて、人々の伝統的な生業のひとつとして焼畑が行われ、また家畜である水牛のエサ場としての草原を維持するために定期的な火入れが行われており、その結果、1970年代には五指山市の広い範囲にわたって森林は消滅し草原が広がっていたという。その後、五指山市の一部に自然保護区が設定され、政府による森林再生・保護政策が施行されたことで、かなりの部分に二次林が生育してきた(梅崎, 印刷中)。

このような聞き取りによる調査結果を確認するためには、リモートセンシング衛星データの分析による過去の土地利用パターンを再現することが有力な方法である。具体的には、1980年に撮影されたランドサット衛星MSSデータ、1999年に撮影されたETM+データ、2000年に撮影されたイコノスデータの分析により、1980～1999年にかけての二次林の再生と草原の減少パターン、極相林(樹冠の閉じた森林)、水田、都市地域、水域、裸地の変動を定量的に把握した。さらには1:50000縮尺の地図から等高線をよみとることにより標高値メッシュ(DEM)を作成し、標高による土地利用パターンの変化、斜度による土地利用パターンなどを分析した。衛星リモートセンシングデータ及びその分析結果、標高値メッシュ、河川・道路・地方行政政府の境界線などのベクトルデータは、全てGISのデータベースとして統合した。なお、入手した地図に緯度経度情報と地図投影法にかんする情報が欠落していたために、GPSを用いて位置情報を収集しデータの幾何補正を行った(Pahari et al., 2002)。

分析の結果、1980～1999年にかけての20年間で、極相林に覆われた部分は2倍以上に拡大し、草原は約3分の1に減少したことが明らかになった。これらの分析は、中国政府の強い指導のもと遂行された環境保全政策が実効性をもっていたことを定量的に実証するものである。

一方で、イコノス衛星データの分析は、1つの村落における生業の変容とそれに伴う土地利用の変化を明らかにした。対象とした村落は国家自然保護区に隣接しているために、1986年の保護区設定によって伝統的な生業である焼畑農耕と水牛の放牧の場を失い、焼畑農耕によって供給されていた副食の代替として水田周辺に生育する雑草を集約的に利用するようになったという経緯をもっている。イコノスの分析によって、水牛の放牧地として使われた場所に生育する二次植生の分布を推定したところ、それは現在の村人が生業に利用する面積の10倍を超える範囲に広がっていた(Umezaki et al., 2002)。これは、政策による環境保全が、人々の生業を変容させ、土地利用へ影響を及ぼした事例として興味深いものである。

5. まとめと展望

人類生態学研究にとってGISは個別の研究を時間的・空間的に一般化する方法論として意味をもっているといえるだろう。具体的には1972年より今日までに入手可能なリモートセンシング衛星の分析結果をGISで分析すること、対象集団をとりまく環境条件・地理情報を統計的に分析することにより、フィールドワークによる村落研究をより普遍的なコンテキストでとらえなおすことが可能となるだろう。

近年、コンピュータ・GISソフトウェアともに性能の向上と低価格化が著しい。リモートセンシング衛星データの解像度は飛躍的に改善されつつあり、代表的なリモートセンシング衛星であるランドサットTM(マルチスペクトル:解像度30メートル)に比較すると、超高解像度衛星イコノス(マルチスペクトル:解像度4メートル)の単位面積あたり情報量は50倍以上に達している。それにともない、1辺が20メートルの畑、村の小

道, 家屋などランドサットでは考えられなかったような詳細な地上情報の識別が現実となりつつある。また, 安価なGISソフトウェアが入手できることで, GIS導入における経済的障壁はとりはらわれつつある(金田ほか, 2001)。

もちろんリモートセンシングで判別できるのは基本的には土地被覆であり, それを人間がどのように利用しているか, すなわち土地利用についての情報を得るためには, 詳細なフィールドワークが不可欠なのはいうまでもない。地理情報がデジタル化され, それぞれの地理情報間の空間的な相関関係, あるいは分布パタンの空間的特徴を定量化する作業は簡便化していくにしても, その解釈にはやはりフィールドワークが必要である。その意味において人類生態学の研究は, 広義の地理情報システムをさまざまな分野に応用するにあたってのメディエーターとして機能することが期待されているともいえるであろう。

引用文献

- Achard, F., H.D. Eva, H.J. Stibig, P. Mayaux, J. Gallego, T. Richards, and J.P. Malingreau., 2002, "Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests", Science, 297, pp.999-1002.
- Brookfield, H., 2001, *Exploring Agrodiversity*, New York, Columbia University Press.
- Evans, T.P., and E.F. Moran., 2002, "Spatial integration of social and biophysical factors related to landcover change", Population and Development Review, Supplement to 28: 165-186.
- Fox, J., R.R. Rindfuss, S.J. Walsh, and V. Mishra., eds, 2003, *People and the Environment: Approaches for Linking Household and Community Surveys to Remote Sensing and GIS*, Boston, Kluwer Academic Publishers.
- 長谷川均, 1998, 『リモートセンシングデータ解析の基礎』, 古今書院。
- 金田明大, 津村宏臣, 新納泉, 2001, 『考古学のためのGIS入門』, 古今書院。
- Liu, J., M. Linderman, Z. Ouyang, L. An, J. Yang, and H. Zhang., 2001, "Ecological degradation in protected areas: the case of Wolong Nature Reserve for giant pandas". Science, 292, pp. 98-101.
- Liverman, D., E.F. Moran, R.R. Rindfuss, and P.C. Stern., eds, 1998, *People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science*, Washington, D.C., National Academy Press.
- 日本リモートセンシング研究会, 2000, 『リモートセンシング通論』, 日本リモートセンシング研究会。
- 野上道男, 岡部篤行, 貞広幸雄, 隈元崇, 西川治, 2001, 『地理情報学入門』, 東京大学出版会。

- Ohtsuka, R., 1994, "Geological-demographic analysis of the long-term adaptation of a human population: methodological implications", Anthropological Science, 102, pp.49-57.
- 大塚柳太郎, 河辺俊雄, 高坂宏一, 渡辺知保, 阿部卓, 2002, 『人類生態学』, 東京大学出版会。
- Pahari, K., M. Umezaki, and K. Jiang., 2002, "A study on land use and environment in Tonza city area in Hainan Province, China: twenty years of change", Proceeding of 23rd Asian Conference of Remote Sensing, Katmandu.
- 鈴木継美, 1980, 『人類生態学の方法』, 東京大学出版会。
- Tso, B., and P.M. Mather., 2001, *Classification Methods for Remotely Sensed Data*, New York, Taylor and Francis.
- Lillesand, T.M., and R.W. Kiefer., 2000, *Remote Sensing and Image Interpretation, 4th edition*, New York, John Wiley and Sons, Inc.
- 梅崎昌裕, 2002, 「高地—人口稠密なフリを襲った異常な長雨」, 大塚柳太郎編, 『ニューギニア—錯綜する伝統と近代』, 京都大学出版会, 167-203ページ。
- 梅崎昌裕, 印刷中, 「野菜としての水田雑草利用: 自然保護区・観光開発と環境保全の動態」, 篠原徹編, 『島の生活世界と開発: 海南島』, 東京大学出版会。
- Umezaki, M., and R. Ohtsuka., 2002, "Changing migration patterns of the Huli in Papua New Guinea Highlands: A genealogical-demographic analysis", Mountain Research and Development, 22, pp. 256-262.
- Umezaki, M., K. Pahari, and H. Jiang., 2002, "Land use of the Li-speaking people in a mountainous area of Hainan Island, China: impact of national nature reserve established in 1986", Proceeding of 23rd Asian Conference of Remote Sensing, Katmandu.
- Verbyla, D.L., 2002, *Practical GIS Analysis*, London, Taylor and Francis.
- Wilkie, D.S., and J.T. Finn., 1996, *Remote Sensing Imagery for Natural Resources Monitoring: A Guide for First-Time Users*, New York, Columbia University Press.