

# 低所得国における夜間光と社会・経済指標の相関関係

倉田正充\*

## 概要

近年、人工衛星によって観測される世界各地の夜間光 (nighttime lights) の強さが各国の国内総生産 (GDP) などのマクロ経済指標と強い相関関係を持つことが明らかとなり、経済発展の代理変数として夜間光データを利用する実証研究が増加しつつある。本稿では低所得国における同データの汎用性を把握するために、バングラデシュを事例として、国内の行政区レベルの夜間光の強さと様々な社会・経済指標との関連性について検討した。分析の結果、夜間光は人口、雇用、インフラなどの基礎的な社会・経済状況に加え、貧困や成人の教育水準、児童の健康状態などの人的資本に関連する指標とも統計的に有意な相関関係にあることが確認された。

**キーワード**：夜間光 (nighttime lights)、リモートセンシング・データ、地理情報システム (GIS)、バングラデシュ

## I はじめに

近年、社会科学におけるリモートセンシング・データ、特に人工衛星データの活用が急速に広がっている (Donaldson & Storeygard, 2016)。この背景として、少なくとも次の2つの要因が考えられる。第一に、人工衛星に搭載される観測機器 (センサ) の技術向上によって、より空間分解能が高く、また全天候型の能動型マイクロ波センサのように様々な条件下でも地上の諸対象物の観測が可能になったことが挙げられる。第二に、その衛星画像の多くがオープンデータとして公開され、さらに各分野の研究者らによって様々な対象 (例えば森林被覆、道路網、自然災害状況など) に特化した地理情報システム (GIS) データが整備・公表されることで、その利用可能性が一気に広がっている。

経済学の文脈においては、これまでも気象や地形などの情報を外生的な操作変数として利用することは一般的であった。しかし近年では人工衛星によって得られたデータを目的変数とした分析も増えており、例えば森林の違法伐採や保護の状況 (Burgess *et al.* 2012, Jayachandran *et al.* 2016)、農地の利用状況 (Holmes & Lee 2012)、都市のスプロール現象 (Burchfield *et al.* 2006)、スラム街の住宅の質など (Marx *et al.* 2015)、様々な分析での応用が見られる。

そのなかでも汎用性が高いデータとして注目を浴びているのが夜間光 (nighttime lights) である。これは米国防総省の防衛気象衛星計画 (Defense Meteorological Satellite Program: DMSP) に基づき、特殊光学センサを搭載したシステム (Operational Linescan System: OLS) を持つ衛星によって取得されているデータである (以下、DMSP-OLS データとする)。同データは米海洋大気庁 (NOAA) で無償公開されており、2016年12月時点では世界全体の1992年から2013年までの情報が揃っている (NGDC 2016)。後述するように、夜間光は国内総生産 (GDP) などのマクロ経済指標と強い相関関係にあることが知られており (Henderson *et al.* 2012)、経済水準を示す代理変数として多くの研究で活用されつつある。

\* 上智大学 経済学部 経済学科  
連絡先 E-mail : kurata@sophia.ac.jp

本稿では、この夜間光の強さが一国内の地域における様々な社会・経済指標とどれほど強い関係を持つのかを、バングラデシュを事例に検討した。具体的には、バングラデシュの行政区を分析単位として、人口、雇用、貧困、インフラ、教育、児童の健康など多様な指標との相関関係を推計した。分析の結果、児童の就学率など一部の指標を除き、ほとんどの指標が統計的に有意な相関関係を持っていることが確認され、国レベルのみならず一国内の地区レベルにおいても夜間光が社会・経済活動の有効な代理変数として使用できる可能性が示された。以下、II節にて先行研究を確認した上で、III節でデータについて説明する。続くIV節では相関関係の推計結果を示し、最後のV節で結論と留意点に触れる。

## II 先行研究

近年の夜間光に関する研究として特に注目を浴びたのが Henderson et al. (2012) である。同研究ではまず事例として、インドネシアでのアジア緊急危機やルワンダ虐殺、マダガスカルにおける貴金属の鉱山発見など、様々な社会・経済的ショックの前後でGDPと夜間光が連動して推移したことを指摘している。その上で1992年から2008年までの約190ヶ国のパネルデータを分析した結果、GDP成長率と夜間光量の変化率との間に強い相関関係があることを明らかにした。また特に途上国政府が公表するGDPの精確性に問題があることを踏まえ、「真」のGDP成長率を既存の政府統計のGDPと夜間光のデータを組み合わせ推計する手法を提起している。その結果、政府統計の精確性に関する世界銀行のレーティングが低い国々では、GDP成長率が過大・過小評価されている可能性が報告されている。

しかし Henderson et al. (2012) の大きな功績は、国レベルのGDPと夜間光との関係を明らかにしたことのみならず、一国の内部や複数国の国境をまたぐ領域における経済水準の代理変数として夜間光データが活用できる可能性を示したことにある。著者らは応用分析の事例として、1992年から2008年までのサブサハラ・アフリカにおける(1)沿岸部と内陸部、(2)プライメイトシティ(大規模都市)と周辺地域、(3)マラリアに感染しやすい地域と感染しにくい地域という3つの分類を用いて比較し、いずれの場合でも後者の方が夜間光量の増加率が高いことを示している。

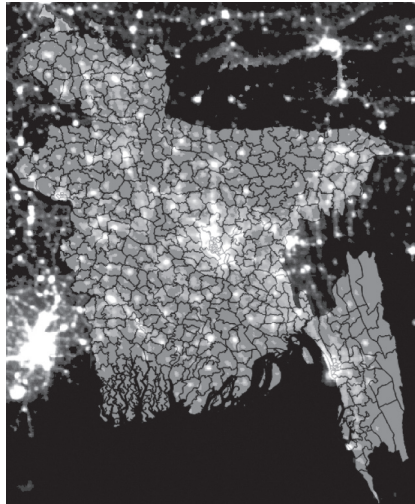
その後、Henderson et al. (2012) をひとつの契機として、経済発展の代理変数として夜間光データを活用する研究が増加しつつある。例えばアフリカ大陸における複数国の都市や(Storeygard 2016)、植民地化以前からの各民族の居住地区(Michalopoulos & Papaioannou 2013, 2014)、また世界各国内の行政区(Hodler & Raschky 2014)など、画一的な統計が得られ難い地区・領域を分析単位とした実証研究の可能性が大幅に広がった(Donaldson & Storeygard, 2016)。他方で、当然ながら夜間光では代理できない経済活動も存在し、特に途上国で重要な役割を担う農業セクターの成長を反映しにくいという問題が指摘されている(Keola et al. 2015)。また夜間光がGDPや所得(消費)以外の社会・経済指標とどれほど相関しているかについては未だ不明な点も多く、より一般的な経済発展の代理変数として見なすことが可能か検討する余地がある。

## III データと分析方法

そこで本稿では低所得国における夜間光と様々な社会・経済指標との関係を明らかにするために、バングラデシュを事例とした分析を行う。分析単位はバングラデシュの「郡」(県より下位の行政区であるUpazilaなど、計527郡)とし、その行政区レベルでの夜間光と社会・経済指標の単相関を推計する方法を採った。

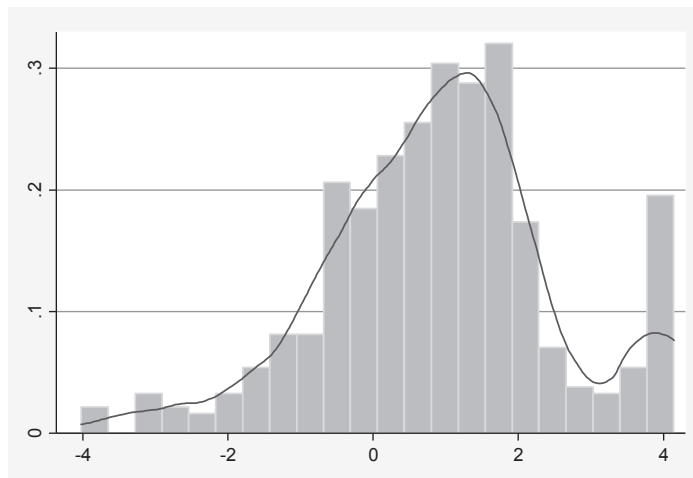
まず夜間光は、先行研究と同じくDMSP-OLSデータを用いる(NGDC 2016)。ラスタ形式で配布されている同データは、各地域の1km四方のセルに対して夜間光の強さを0(光が無い状態)から63(最も光

が強い状態) までの整数値で分類するものである。図1は2010年におけるバングラデシュ周辺の状況を示しており、中央に位置するバングラデシュの首都ダッカや、左下に位置するインドの都市コルカタなどの地区で夜間光が強いことが確認できる。また、バングラデシュの527郡について夜間光の平均を集計し、その対数をヒストグラムとして示したのが図2である。なお同図が双峰性の分布を示しているのは、夜間光量の最大値(63)がトップ・コーディングされた値であることに由来する。



出所：NGDC (2016) に基づき筆者作成

図1 バングラデシュ周辺の夜間光データ (2010年)



出所：NGDC (2016) に基づき筆者作成

図2 バングラデシュにおける各郡の夜間光の分布 (2010年)

次に社会・経済指標は3種類の統計を利用した。第一に、基本統計である人口や雇用、インフラ、教育等に関する情報は2011年に行われた人口センサス（Bangladesh Census of Population and Housing）のデータを用いた。第二に、貧困に関してはバングラデシュ政府による2010年の世帯所得・支出調査（Household Income and Expenditure Survey）に基づいて推計された貧困率（上方・下方貧困線を下回る貧困者比率）を利用した。第三に、児童の健康状態については同政府と World Food Programme（WFP）などの国際機関が協力して作成した“Undernutrition Maps of Bangladesh 2012”のデータを用いた。

#### IV 分析結果

各指標の記述統計及び夜間光の強さとの相関係数を表1に示した。また主要な指標に関する散布図は図3の通りである。全体的には、一部の児童教育に関する指標を除き、ほとんどの指標が統計的に有意な相関関係にあることが確認された。

具体的には、まず人口については人口密度と生産年齢人口（15～64歳）の割合が夜間光と正の相関関係にある。貧困率は上方・下方貧困線のいずれも相関係数は $-0.4$ となった。これは夜間光が貧困率と統計的に有意な相関関係にある一方で、貧困の深刻度は反映しにくいことを示唆している。労働者の雇用割合については農業セクターで負、工業及びサービスセクターで正の相関が強く表れている。つまり夜間光の変動は産業構造の変化を捉える上で有用な情報と見なすことができる。インフラについては電化率との相関係数が高いことは当然のことであるが、洗浄トイレや水道水などの設備とも同係数は $0.5$ を上回っている。

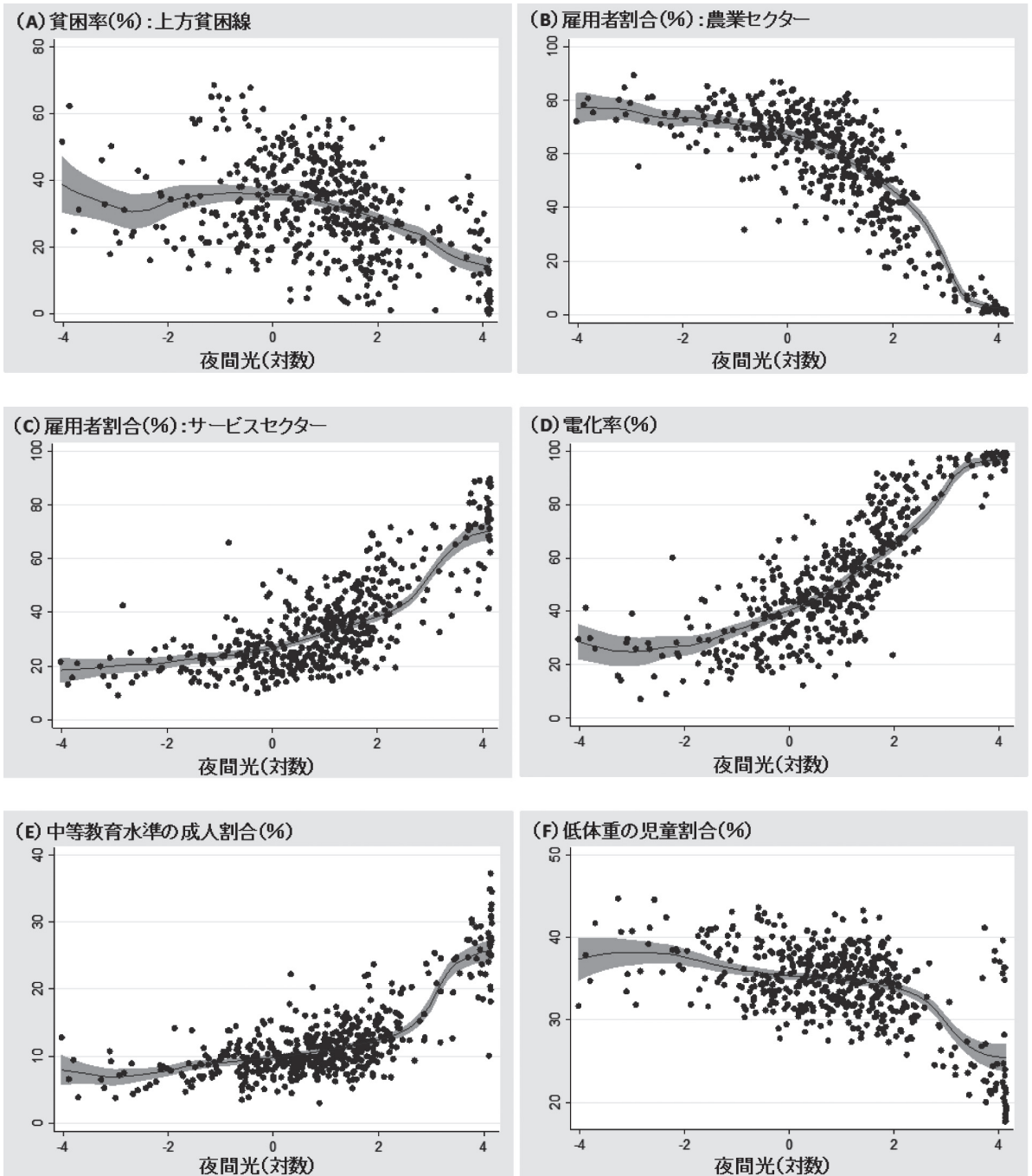
また教育の「ストック」として捉えられる成人の教育水準に関する各指標も夜間光との強い相関関係が見られる一方で、「フロー」の指標と見なすことができる児童（6～18歳）の就学率については、特に11～15歳の中等教育において相関係数が低く統計的な有意性も認められなかった。また児童の健康状態については、低体重及び低身長のもちらも大きな負の相関係数となったが、症状が深刻な場合に同係数の絶対値は小さくなる傾向にあることが確認された。

表1 社会・経済指標の記述統計及び夜間光との相関関係

指標		平均	標準偏差	夜間光との 相関係数
人口	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )	3125.2	7994.0	<b>0.531</b> ***
	人口割合 (%) : 0 ~ 6 歳	15.6	2.2	-0.344 ***
	人口割合 (%) : 7 ~ 14 歳	19.3	2.1	-0.350 ***
	人口割合 (%) : 15 ~ 64 歳	60.3	4.4	0.415 ***
	人口割合 (%) : 65 歳以上	4.8	0.9	-0.383 ***
貧困	貧困率 (%) : 上方貧困線	31.1	14.2	-0.404 ***
	貧困率 (%) : 下方貧困線	17.7	10.8	-0.399 ***
雇用	雇用者割合 (%) : 農業セクター	55.0	23.5	<b>-0.811</b> ***
	雇用者割合 (%) : 工業セクター	10.8	9.5	<b>0.626</b> ***
	雇用者割合 (%) : サービスセクター	34.2	17.6	<b>0.740</b> ***
インフラ	電化率 (%)	52.4	23.7	<b>0.830</b> ***
	トイレの無い世帯の割合 (%)	8.2	9.6	-0.362 ***
	非洗浄トイレの世帯の割合 (%)	37.8	14.0	0.197 ***
	洗浄トイレの世帯の割合 (%)	24.2	16.0	<b>0.515</b> ***
	井戸水の利用世帯の割合 (%)	83.6	23.1	-0.364 ***
	水道水の利用世帯の割合 (%)	8.0	19.4	<b>0.599</b> ***
成人教育	成人識字率 (%)	48.7	12.8	<b>0.663</b> ***
	初等教育未満の成人割合 (%)	52.3	13.0	<b>-0.676</b> ***
	初等教育水準の成人割合 (%)	32.5	7.1	0.281 ***
	中等教育水準の成人割合 (%)	11.9	5.8	<b>0.707</b> ***
	高等教育水準の成人割合 (%)	3.3	4.4	<b>0.567</b> ***
児童教育	就学率 (%) : 6 ~ 10 歳	78.8	5.4	0.286 ***
	就学率 (%) : 11 ~ 13 歳	77.4	8.7	-0.028
	就学率 (%) : 14 ~ 15 歳	58.7	11.2	0.012
	就学率 (%) : 16 ~ 18 歳	35.3	9.7	0.183 ***
	就学率 (%) : 6 ~ 18 歳	70.3	6.6	-0.017
児童健康	低体重の児童割合 (%)	34.2	5.0	<b>-0.570</b> ***
	深刻な低体重の児童割合 (%)	8.0	1.8	<b>-0.529</b> ***
	低身長の子どもの割合 (%)	40.9	3.7	-0.492 ***
	深刻な低身長の子どもの割合 (%)	23.2	3.5	-0.405 ***

出所：筆者推計。

注：\*\*\* は 1%水準で統計的に有意であることを示す。相関係数が絶対値で 0.5 を超える場合には太字に、さらに 0.7 を超える場合に下線が引かれている。



出所：筆者作成。

注：図中の曲線は locally weighted regression に基づく 95%信頼区間付きの近似曲線を示す。

図3 社会・経済指標と夜間光の散布図

## V おわりに

本稿では低所得国における夜間光データの汎用性を把握するために、バングラデシュを事例として、国内の地区（行政区）レベルの夜間光の強さと様々な社会・経済指標との関連性について検討した。分析の結果、夜間光は人口、雇用、インフラなどの基礎的な社会・経済状況に加え、貧困や成人の教育水準、児童の健康状態などの人的資本に関連する指標とも統計的に有意な相関関係にあることが確認された。ただし、児童の就学率（11～15歳の中等教育）については夜間光との相関関係が無いことも判明した。

結論として、夜間光は所得などの金銭的指標のみならず非金銭的な社会・経済指標を含む一般的な経済発展の代理変数として、一定程度の役割を担うことができると考えられる。また上記の指標は、国連開発計画（UNDP）の人間開発報告（Human Development Report）で公表されている多元的貧困指標（Multidimensional Poverty Index: MPI）の構成要素（あるいは類似の要素）を複数含んでいることから、夜間光とMPIの間にも負の相関関係があると想定される。

他方で、本稿で示された諸指標との相関係数は、分析対象とする国や年次によって異なることが十分に考えられる。その意味で、本結果は2010年頃のバングラデシュにおける状況を示すに留まり、他の国や年次に対する一般性を保証するものではない。この観点から、更なる分析の発展として、夜間光と社会・経済指標との相関関係が多国間でどう異なるのか、あるいは一国内で長期的にどう変化するのかを検討する余地があるだろう。

### 参考文献

- [1] Burchfield, M., Overman, H. G., Puga, D., & Turner, M. A. (2006). Causes of sprawl: A portrait from space. *The Quarterly Journal of Economics*, 587-633.
- [2] Burgess, R., Hansen, M., Olken, B. A., Potapov, P., & Sieber, S. (2012). The Political Economy of Deforestation in the Tropics. *The Quarterly Journal of Economics*, 127(4), 1707-1754.
- [3] Donaldson, D., & Storeygard, A. (2016). The View from Above: Applications of Satellite Data in Economics. *The Journal of Economic Perspectives*, 30(4), 171-198.
- [4] Henderson, J. V., Storeygard, A., & Weil, D. N. (2012). Measuring economic growth from outer space. *The American Economic Review*, 102(2), 994-1028.
- [5] Hodler, R., & Raschky, P. A. (2014). Regional favoritism. *The Quarterly Journal of Economics*, 129(2): 995-1033.
- [6] Holmes, T. J., & Lee, S. (2012). Economies of density versus natural advantage: Crop choice on the back forty. *Review of Economics and Statistics*, 94(1), 1-19.
- [7] Jayachandran, S., de Laat, J., Lambin, E., & Stanton, C. (2016). Cash for Carbon: A Randomized Controlled Trial of Payments for Ecosystem Services to Reduce Deforestation. mimeo.
- [8] Keola, S., Andersson, M., & Hall, O. (2015). Monitoring economic development from space: using nighttime light and land cover data to measure economic growth. *World Development*, 66, 322-334.
- [9] Marx, B., Stoker, T. M., & Suri, T. (2015). There is no free house: Ethnic patronage in a Kenyan slum. mimeo.
- [10] Michalopoulos, S., & Papaioannou, E. (2013). Pre-Colonial Ethnic Institutions and Contemporary African Development. *Econometrica*, 81(1), 113-152.

- [11] Michalopoulos, S., & Papaioannou, E. (2014). National institutions and subnational development in Africa. *The Quarterly Journal of Economics*, 129(1), 151-213.
- [12] National Geophysical Data Center (NGDC). (2016) Version 4 DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series. National Oceanic and Atmospheric Administration. <http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/downloadV-4composites.html> (accessed December 1, 2016)
- [13] Storeygard, A. (2016). Farther on down the road: transport costs, trade and urban growth in sub-Saharan Africa. *The Review of Economic Studies*, 83(3): 1263-95.