

インドネシア共和国ブランタス川流域における居住地拡大と植生変化

国土技術政策総合研究所 清水武志、小山内信智

1. はじめに

水資源管理・土砂管理や災害対策は、人間活動と自然条件との相互作用が起こっている箇所に、何らかの手段を講じて人間が活動しやすい環境を整える行為である。したがって、人間活動のインパクトが自然条件の変化にどのような影響を与えたのかを考察することは、水資源管理・土砂管理や災害対策を実施する上で有益である。

対象流域であるインドネシア共和国ブランタス川流域は、ジャワ島東部の東ジャワ州に位置し、インドネシア共和国第2の都市スラバヤを擁する流域である(図-1)。本流域は、1960年から2000年までの間に人口が2倍になった人口急増地域であると同時に、GDPの推移から経済的にも急速に発展している地域である。土地利用変化を見ると、かつて密生していた森林が伐採され、山地に田畑が耕作されている(砂田、2008)。一方、本流域の水資源管理上重要な役割を果たしている中流域のダム群は堆砂が著しい。火山噴火を除けば、ダムに流入する土砂の主たる生産源は河床の堆積物であると考えられているものの、ダム群上流域の森林と耕作地を比較すると耕作地の方がダム堆砂への寄与が大きい(砂田、2008)。以上より、人間の活動地域が山地へ拡大したことによって土地利用がどのように変化したのかを把握することは、ダム堆砂対策などの水資源管理・土砂管理を効果的に実施するための土地利用の在り方を検討する際に有益であろう。

本稿では、人間活動が活発になった場所において森林が減少したと作業仮説を立て、衛星リモートセンシング画像を用いて、ブランタス川流域における人間活動の変化とそれに伴う植生変化の関係を検討した。

2. 使用データ

インドネシア共和国では、水資源管理や土砂管理、災害対策のために必要となる時間的・空間的に分解能が高いデータが、日本のように揃っていない場合が多い。そのため、衛星リモートセンシングによって観測されたデータは、広域における均質なデータが時系列的に入手できる点で有用である。

人間活動を経年的に把握するために、1年間定常な夜間光を1km水平分解能で1枚の衛星画像としたDefense Meteorological Satellite Program / Operational Linescan System(DMSP/OLS), stable light night time series v.2(NOAA NGDC提供)を1998年から2003年までの6年間分、計6枚用いた。DMSP/OLSについては、光の強さが人口に相関がある研究事例(Elvidge et.al, 1997)を参考に、年間定常的に存在する光の強さを表す64段階の整数値(DN:Digital Number)を人間活動の活発さを表す指標とした。ブランタス川流域の山地に工場地域がないことから、山地において時間経過に伴い光が強くなった場合は居住地が拡大したと解釈する。一方、植生の変化をみるために、1km水平分解能のSPOT/Vegetation(Free Vegetation Products提供)の正規化差分植生指標NDVIを用いた。雲の影響を排除するために、年間最大NDVIコンポジット画像(例えば、小柳ら、2008)を、1998年から2003年まで計6枚作成した。山腹においてNDVIが減少した場合は森林が減少したものと仮定した。これは田畑や畑作地域であれば最大NDVIに大きな変化が見られないと考えられるためである。さらに、標高として90m水平分解能の地形データであるShuttle Radar Topography Mission(SRTM)のデータセットを用いた。

3. 解析手法、考察および結論

図-2にDMSP/OLSによる夜間光の平面分布と時系列変化を示す。時間経過によって都市域から山地にまで光が拡大している。つまり、本流域においては、2002年から2003年を除けば、ある特定の場所の光量は時間がたつと増加する傾向がある。ただし、DMSP/OLSは光量に対して閾値が設定されているため、大都市では光量が飽和してしまい時間が変化してもDNは63と一定である。また、2003年の光量減少の原因は、閾値設定は米軍が適宜実施している(詳細不明)ため、時間が異なると同光量でもDNが異なる可能性があるためと考えられる。図-3に流域全体の全ピクセルのDN(横軸)とNDVI(縦軸)の関係を時系列的に示す。1年毎に見ると、いずれの年でもDNが大きいとNDVIが小さい。また、DNに対するNDVIの時間変化を見ると、DNが大きいと時間経過につれてNDVIが減少する傾向があるが、DNが40以下程であれば時間による大きな違いは見られない。従って、人間活動が活発になると植生は減少する傾向があり、また、DNが大きな都市域では年々植生が減少していると考えられる。

流域のほとんどの場所で時間経過につれてDNは増加していると考えられることから、ピクセル毎に6年分のDNとNDVIをそれぞれ横軸・縦軸にプロットした散布図を作成し、線形回帰分析を行うことで、人間活動変化と植生の関係の時間変化がわかると考えた。つまり、代表的な場所において、回帰直線は図-4の概念図のような関係になると推察される。

本稿の目的は山地でのDNとNDVIの変化の把握であるため、線形回帰分析したのち、標高毎にDNに対するNDVIの回帰係数の平均を計算し整理した(図-5)。なお、線形回帰分析を行う前に、DMSP/OLS、SPOT vegetation、SRTMの画像の位置を合わせ、最近隣法を用いて水平解像度を90mに統一した。

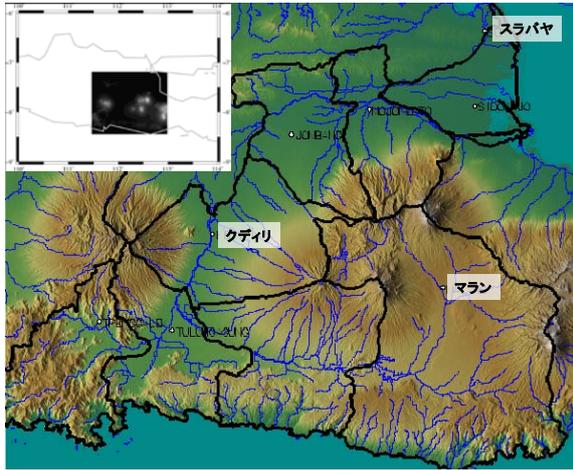


図-1 ブランタス川流域の地方行政界と主要都市名および河川網。左上図はジャワ島（灰色線）と解析対象範囲（黒から白に標高が高くなる）の位置図

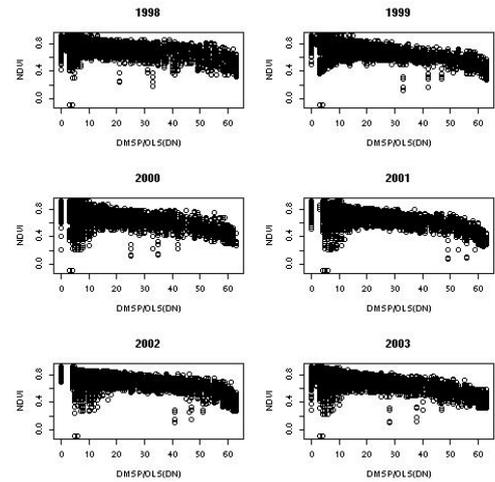


図-3 流域全体の DN と NDVI の関係。横軸が DN、縦軸が NDVI である

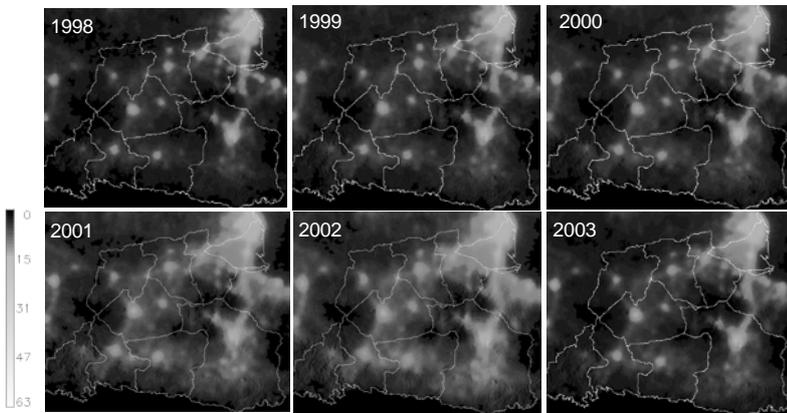


図-2 DMSP/OLS DN の平面分布と時系列変化

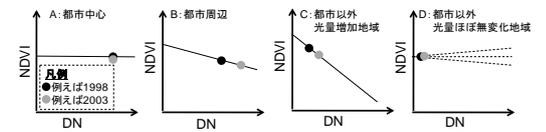


図-4 代表的な場所における DN と NDVI の関係の概念図。A：都市中心は光が飽和し DN 不変で植生はわずかに減少程度、B：都市周辺は光量が著しく増加しているため植生が減少するが元々植生が少ないため減少率は小さい、C：都市以外光量増加地域は元々植生が豊富であるため光量のわずかな増加で大きく植生は減少、D：都市以外光量ほぼ無変化地域は DN と NDVI の関係は不明瞭で元々の植生の状態によって増加・減少が異なる

図-5を見ると、都市が存在する標高0mから500m程度までは、DNの増加に伴うNDVIは減少傾向にある。500mから800m程度までは、DNの増加に伴うNDVI減少率の絶対値がさらに増加し、1,800m程度までは本流域の中で最もNDVI減少率が大きい地域である。1,800m以上はNDVIの変化率は0に漸近していき、標高2,800m付近で減少するものの、3,000m付近でNDVIが増加傾向に転向する。この結果より、図-4のA：都市中心は標高0mから100mまでに存在する都市（スラバヤなど）および標高450m付近の都市（マランなど）、B：都市周辺は標高0mや450m付近および800mまでの回帰係数が減少している場所、C：都市以外光量増加地域は標高800mから1800mまで、D：都市以外光量ほぼ無変化地域は1800m以上に、分類できると考えられる。この結果から、特に標高500mから1,800mまでの範囲で居住地が拡大し森林が減少していると考えられる。

<引用文献>

C.D.Elvidge, K.E. Baugh, E.A. Kihn, H.W.Kroehl, E.R. Davis and C. W. Davis: Relation between satellite observed visible-near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption, INT. J. Remote Sensing, Vol.18, No.6, 1373-1379, 1997; 小柳智和、本岡毅、西田顕郎、眞坂秀二: SPOT-Vegetation と Terra-MODIS による東アジアの植生変動推定、日本リモートセンシング学会誌、Vol.28, No.1, 36-43, 2008; 砂田憲吾編著: アジアの流域水問題、技報堂出版、86-103, 2008

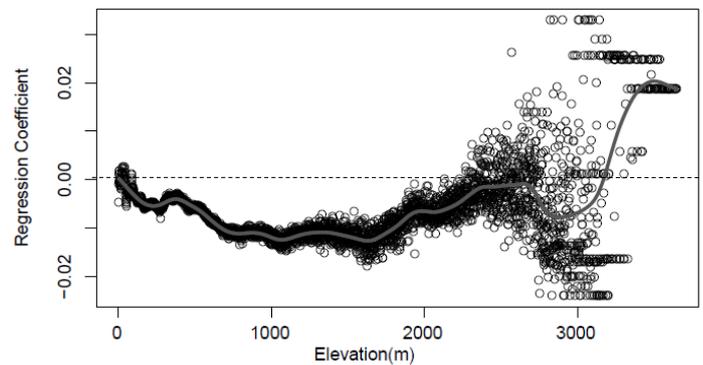


図-5 標高と DN に対する NDVI の回帰直線の回帰係数（傾き）との関係