

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：35402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330040

研究課題名(和文)世界の森林面積減少におけるヒューマンディメンジョンモデル

研究課題名(英文)Statistical Models of Deforestation in Human Dimension

## 研究代表者

田中 章司郎(TANAKA, Shojiro)

広島経済大学・経済学部・教授

研究者番号：00197427

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：森林減少の主要因は、本助成による一連の研究により、周囲区画の影響と共に地形傾斜要素が媒介する人口密度であることが、統計モデルにより明らかになった。森林減少の定量的変化を、森林データ(人工衛星データ)、人口メッシュデータ、地形データを同一メッシュに統合した説明変数に基づく空間統計モデルを探索した。

データは、日本に関して精密さを誇る地域メッシュデータ(人口)及び国土数値情報(地形・森林面積比率)、世界に関して米国コロンビア大のGPWv3(人口)、米国地質調査所作成のGTOPO30(地形)、及び国連環境計画のLCDSを用い、統計モデルはAICとBICにより比較し、ベストモデルを求めた。

研究成果の概要(英文)：This aided research explored functional forms of man-landcover interrelations. The basic strategy was to use landcover and topological data mashed up with cell-formed population density data.

Two factors -- human population size and relief energy: difference of minimum altitude from the maximum in a sampled area -- were picked up firstly to make elucidation of forest coverage ratio on the same site. The functional forms with sigmoidal shape were suggested by step functions fitted to one-kilometer square high precision grid-cell data in Japan. By calculating relative appropriateness to data, AIC and BIC were applied. The two-type values by step functions -- one by independent model, the other by a model that takes neighbor effect -- indicated baseline fitness indices to examine succeeding suitability of candidate functions. The best model showed best performance in common among test areas of China and Japan.

研究分野：環境データ解析

キーワード：人口との相互作用による森林減少モデル 空間統計学 データ駆動型解析

## 1. 研究開始当初の背景

Tanaka and Nishii [1]は森林被覆率のロジット変換を目的変数、人口密度とメッシュ内高低差を説明変数としたパラメトリックな

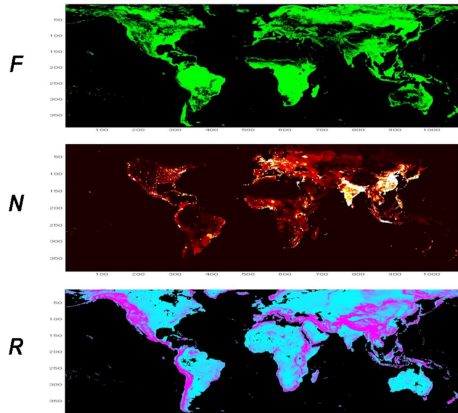


Figure 2: World dataset

非線形回帰モデルを探索し、ハルビン、天津、武漢、日本の4地域で数十のモデルをあてはめた結果、同一のモデルが実データとの適合度が最適であったことを突き止めた。他地域でのモデルの妥当性の検証、及び開発した時空間データ解析手法の高度化と普及の促進が課題となっていた。

## 2. 研究の目的

二酸化炭素の循環、土壌の保持、水収支、塩土化の抑止、生物多様性の確保など、森林の果たす役割は、論を待たない。昨今では、森林の種類と面積は、二酸化炭素排出権取引の重要な対象となっている。

周辺諸国に毎春降り注ぐ黄砂は、汚染物質を含んで年々被害を拡大している。これは中国大陸の砂漠化と関連する。砂漠化のプロセスは、砂漠周辺の耕作地・放牧地拡大などのヒトの活動が、大きく関与する。このようなヒトの活動により、多くの文明が砂漠の中に埋没したことはよく知られている。

オゾン層濃度、土壌水分、地表面温度、土地被覆状況など、テラバイト・オーダーの情報、時々刻々と人工衛星・自動測定機器から集められている。しかし、それらのデータ相互の関係について、特に人間的次元(ヒューマンディメンション)がどのように地表面に影響しているかについて、数理モデルを通じた研究が不足している [2]。

森林の減少は、多くの場合、複雑な因果関係の結果引き起こされる。従って森林の減少については、地域ごとに異なる要因を挙げて解析する事例が殆どであった。例えば先進国については地価、市街化調整区画該当有無、空気中汚染物質や酸性雨などである。

発展途上国においては、換金作物栽培、牛などの放牧、過度の焼き畑、材木の採取や燃料需要の増加が、主要な森林減少の要因と言われている [3]。つまり、複雑な因果関係にもかかわらず、これらの要因はすべて直接間

接に人為活動と関連しており [2]、人口の増加に伴って森林が減少する数理モデルを想定することができる。

Hallら[4]は、人口動態と並んで強い影響を持つ気候の変動よりも、標高や傾斜などの地域的な要因が、森林の減少にはより重要であると指摘した。急傾斜地は耕作地に適さず、森林が残存することは容易に想像される。

田中・西井は、この点に着目した一連の研究を推進してきた。

その契機となった研究では、 $F$  をメッシュ当たりの森林面積比率、 $N$  を人口密度、 $R$  を起伏量(メッシュ区画の最高標高と最低標高の差)として、 $F = g_i(N) + h_j(R)$  とする関数型  $g_i$  と  $h_j$  を追求した結果、赤池の情報量基準(AIC)による実データと数理モデルとの相対適合度を尺度として、少なくとも日本、中国を含む東アジア東アジアの4地域に於いて同じ関数型が選ばれた。

Figure 1 に見るとおり、対象とした天津には天津だけではなく北京と万里の長城を含



Figure 1: Test fields

み、平地では森林がきわめて少なく、一定の閾値標高差を超えた区画において、やっと森林の残存を知ることを示している。

この人口との相互作用に基づく森林減少の仕組みが単純な数理モデルとして正確に解明されれば、単に木を植えることだけではなく、地域ごとの推定されたパラメタ予測によって社会経済状況を反映した地域に適した新たな森林保全対策に有効に活用できる。

すなわち、天津地域では、急傾斜地では森林が残存しているので、表土流出がなければコスト面から見て、平坦な区画から緑地化していくことが、環境施策の効果が高いことが分かる。

本研究は、全世界で適用可能なユニバーサル・モデルを発見する。そのことにより、次の段階は時間発展的な成長モデル(微分方程式)を求め、ロジスティック方程式のように、ヒトと森林との動的な因果関係を知り、森林の今後を予測することができる。

## < 引用文献 >

[1] S. Tanaka and R. Nishii, "Non-linear

regression models to identify functional forms of deforestation,” IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, 47, No. 8, 2617-2626, 2009.

- [2] E. Lambin, “Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions,” Progress in Physical Geography, vol. 21, pp. 375–393, 1997.
- [3] N. Myers, “The world’s forests and human populations: the environmental interconnections,” Population and Development Review, vol. 16 (supplement), pp. 1–15, 1990.
- [4] C.A.S. Hall, H. Tian, Y. Qi, G. Pontius, and J. Cornell, “Modeling spatial and temporal patterns of tropical land use change,” Journal of Biogeography, vol. 22, pp. 753–757, 1995.

### 3. 研究の方法

観測した各メッシュの森林被覆率を、当該メッシュにおける人口密度、および地形的要因により森林被覆率を説明することを試みる。Tanaka and Nishii (2009, 上掲) は森林面積比のロジット変換を目的変数、人口密度と起伏量（区画の標高差）を説明変数としたパラメトリックな非線形回帰モデルを探索した。今回は、周辺からの影響を、1次近傍、2次近傍それぞれからの影響を取り入れた正規モデルを推定する。1次近傍  $U_{1s}$  は  $s$  に隣接したメッシュ番号の集合、2次近傍  $U_{2s}$  はななめに位置するメッシュ番号の集合を表す（Figure 3 参照）。さらに、変量の分布を単純な正規分布から空間相関を考慮した 0,1-inflated に拡張する。東アジアのみならず、世界の主な森林減少地域を対象として、これらの高度化したモデルとそのパラメタを精密に検証する。

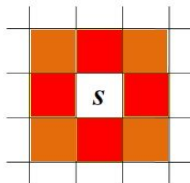


Figure 3: Neighborhood

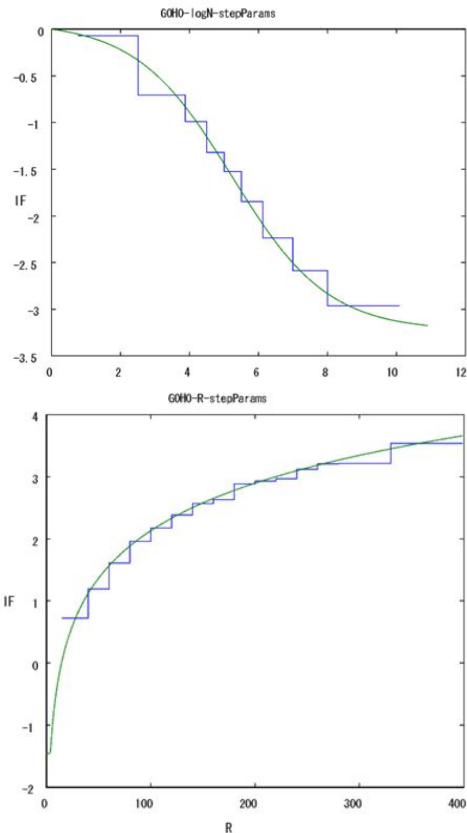
（Figure 3 参照）。さらに、変量の分布を単純な正規分布から空間相関を考慮した 0,1-inflated に拡張する。東アジアのみならず、世界の主な森林減少地域を対象として、これらの高度化したモデルとそのパラメタを精密に検証する。

### 4. 研究成果

モデルの改良について、今まで起伏量（区画の標高差）のみを森林面積減少の地形要素としていた。区画の標高平均値、標準偏差、などの諸統計量を網羅的に組み合わせて実データとの相対適合度(赤池の情報量規準 AIC)を求めたところ、起伏量に、区画の平均標高を追加すると、日本と東アジア地域において著しく適合度が高まった。すなわち、以前のベストモデルに平均標高を追加したモデルが最も良い実データとのあてはまりを示した。

これは、標高の高い地域の森林をヒトが切り開くためには、それなりのコストをかけなければならない、結果として高地において森林が残存することが原因として考えられる。なお、解析対象には森林限界以上の高地は含まれていない。

森林面積減少モデルの解析手法について、2つの進展があった。ひとつは下図に見るように、階段状のステップ関数のパラメタ推定について、近隣の区画の影響を考慮した解析手法を開発した。このことにより、探求する関数型候補のよりの確で直感的な選択が可能となる。また、AIC とともにベイズ情報量規準(BIC)を同様に求めると、データ数の多いとき(約 1,000 以上)、ステップ関数の AIC による適合度が上述のベストを凌駕したのに対して、BIC 規準を用いた場合には、階段関数ではなく、ベストモデルが選択された(n=6765)。



このことにより、データ数が相当数多いときには、AIC よりも BIC が、パラメトリックモデルにおいては、より適切な適合度規準となる可能性を示唆している。

モデル解析手法成果の 2 点目は、周辺近傍区画を考慮したパラメタ推定には、ガウスニュートン法などによる最適化が必要となり、プログラミングの手間と解析の時間がかかる。このため、周辺区画を考慮しない独立モデルのパラメタを一旦推定し、そのパラメタを周辺近傍のデータと同時に適用させる 2 段階の手法 (Pseudo-Maximum Likelihood Method: PML)を開発したことである。この手法は、最尤法と体系的に比較して評価する必要があるが、現在のところ適合度に関してモデル別傾向との一致を見ている。

一方、平成 27 年度には、IEEE の分科会 IGARSS 2015 (International Geoscience and Remote Sensing Symposium)で invited session を Center for International Earth Science

Information Network (CIESIN, コロンビア大) と共同で開催した。IEEE の分科会 IGARSS はNASA, ESA などを含む約2,000名の参加者を毎年集める。Alex de Sherbinin(コロンビア大)と代表者・分担者がオーガナイザとなり、高解像度となったメッシュ人口密度データをリモートセンシングデータと統合し、多方面での応用可能性を検討した(Invited Session: “Remote Sensing and Population Data Integration for Global Change and Disaster Risk Research”)

この機会に Sherbinin の他に Robert Chen (CIESIN 所長), Christoph Aubrecht (オーストリア最大の工学系研究所 AIT), Lopez-Carr David (UC Santa Barbara) 等と知りあい、環境問題に対する取組みの最新の有益な知見と情報を得ることができたことは、今後の研究をさらに推し進める上で、大変大きな収穫があったといえる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 4 件)

- [1] “Novel wrapper approach for variable selection in support vector machine,” S. Koda, R. Nishii and Y. Fukasawa, Bulletin of Informatics and Cybernetics (査読有), pp.105-117, 2016.
- [2] “Unified modeling based on SVM and SVR for prediction of forest area ratio by human population density and relief energy,” R. Nishii and S. Tanaka, Proc. IEEE IGARSS 2015 (査読有), pp.2548-2551, 2015.  
DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7326332
- [3] “Incorporation of gridded data into the analysis of remotely-sensed images,” S. Tanaka and R. Nishii, Proc. IEEE IGARSS 2015 (査読有), pp.2548-2551, 2015.  
DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7326331
- [4] “Re-evaluation of topographic attributes with human population,” S. Tanaka and R. Nishii, Proc. IEEE IGARSS 2014 (査読有), pp.3503-3505, 2014.  
DOI: 10.1109/IGARSS.2014.6946907

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 1 件)

- [1] 実データの統計推測を題材とした学部教育. 西井龍映, 大学教育の数学的リテラシー, 水町龍一編著, 東信堂, 分担執筆, 頁 84-107, 2017.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

- (1)研究代表者  
田中 章司郎 (TANAKA, Shojiro)  
広島経済大学・経済学部・教授  
研究者番号: 00197427
- (2)研究分担者  
西井 龍映 (NISHII, Ryuei)  
九州大学・マス・フォア・インダストリ  
研究所・教授  
研究者番号: 40127684
- (3)連携研究者  
( )  
研究者番号:
- (4)研究協力者  
( )