

## モンゴルの草原は本当に砂漠化しているのか？

中野智子\*

### **Does Mongolian Grassland Really Degrade?**

NAKANO Tomoko

Mongolia is located in arid and semi-arid zones in eastern Asia and is sensible to climate change and human activity. Therefore concerns about land degradation and desertification due to global warming and/or overgrazing have been rising. In this study, I explored temporal and spatial patterns of vegetation change, and climatic and nomadic influences on the vegetation in Mongolia by using remotely sensed vegetation index, gridded climate data, and statistical data of livestock animals for the period of 1981–2014. Based on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) analysis, the area with vegetation increase was more extensive than the area with decrease. The climate data indicated that air temperature has risen throughout Mongolia and precipitation has decreased in central part of the country. Number of livestock animals has highly increased in several northern prefectures around the capital city Ulaanbaatar. The results suggest that the decrease of precipitation and/or the increase of livestock animals may affect the vegetation reduction in Mongolia, but these factors don't always cause the degradation of grassland.

キーワード：モンゴル国, 乾燥・半乾燥地域, 草原生態系, 砂漠化, 気候変動, 遊牧, 過放牧

#### 【目次】

1. はじめに
2. 使用データ
3. 結果と考察

---

\* 中央大学経済学部教授

## 1. はじめに

### 1.1 研究の背景と目的

「砂漠化」は、国連砂漠化対処条約（United Nations Convention to Combat Desertification: UNCCD）により、「乾燥地域、半乾燥地域、乾燥半湿潤地域における気候上の変動や人間活動を含むさまざまな要素に起因する土地の劣化」と定義されている。世界の陸地の約 4 割を占める乾燥・半乾燥地域には 20 億人以上の人々が暮らし、農業や牧畜業が営まれている。砂漠化はこうした農業・牧畜業による食糧の生産基盤を悪化させ、環境のみならず保健衛生や社会経済など様々な面で問題を引き起こすため、UNCCD のもとで砂漠化に対処するための活動が世界各国で取り組まれている<sup>1)</sup>。

モンゴル国は東アジアの中緯度に位置し、ロシアと中国に挟まれた内陸国である。気候は大陸性で降水量が少なく、国土の大半が乾燥・半乾燥地域に位置している。ステップと呼ばれる草原が広く分布し、そのため過去 1000 年を超える長きにわたり、遊牧が人々の生業の中心となってきた。しかしながら近年、モンゴル国においても砂漠化（草原の劣化）が進行しつつあることが報告され<sup>2)</sup>、基幹産業である遊牧への影響が懸念されている。砂漠化の原因には気候的要因（地球規模での気候変動、干ばつ、乾燥化など）と人為的要因（過放牧、過伐採、過耕作など）があげられるが<sup>3)</sup>、モンゴル国での砂漠化問題を考えるためには、まず現状を把握し、その原因を明らかにすることが重要となる。そこで本研究では、人工衛星によるリモートセンシングデータを利用してモンゴル国における植生変化の様子を把握し、加えて植生変化の要因となりうる気候の変化、家畜数の変化等の解析を実施したので、その結果を報告する。

### 1.2 モンゴル国の地理的環境

モンゴル国はユーラシア大陸の内陸部に位置し、平均海拔高度は 1500m をこえる。西部には標高 4000m を超えるアルタイ山脈および中央部には標高 3500m 程度のハンガイ山脈があり、南東部に行くにしたがって標高は低くなる（図-1）。

図-2 は年平均気温の分布を示している。年平均気温は南部で摂氏 5℃ 程度であるが、北部では東西で差が見られ、標高の高い西部で -5℃、東部では 0℃ 程度となっている。また図には表していないが、内陸国であるモンゴルでは気温の変動幅が大きく、最暖月と最寒月の差は 40

1) 環境省自然環境局、『人々の暮らしと砂漠化対処』（PDF ファイル、URL: <https://www.env.go.jp/nature/shinrin/sabaku/download/panph.pdf>）、16p. 2013.

2) The Guardian, “Climate change in Mongolia destroying pastures on which nomadic herders rely”, (URL: <https://www.theguardian.com/global-development/2016/mar/10/climate-change-mongolia-destroying-pastures-nomadic-herders-dzud>), 2016/03/10.

3) 注 1) と同じ。

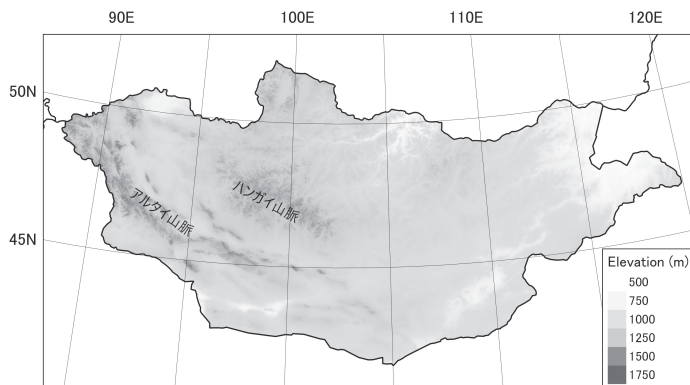


図-1 モンゴル国における標高の分布

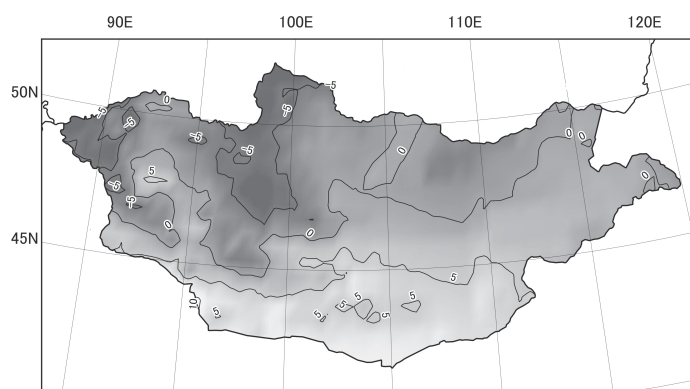


図-2 モンゴル国における年平均気温の分布

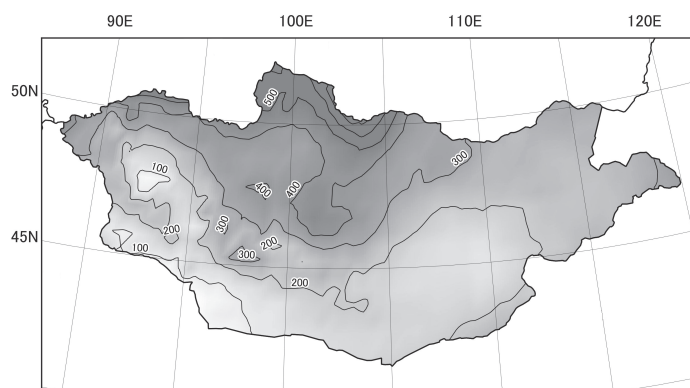


図-3 モンゴル国における年降水量の分布

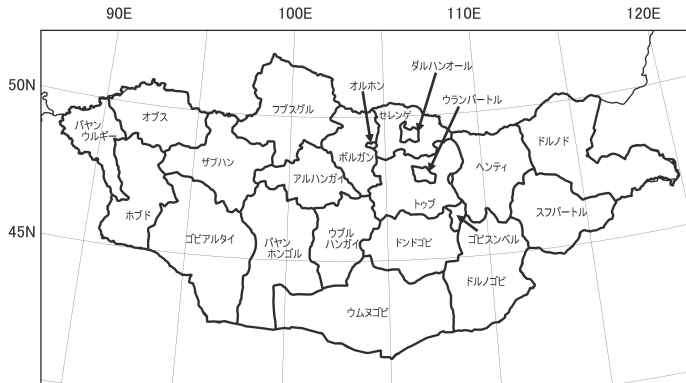


図-4 モンゴル国の行政界（日本の県に相当するアイマグ）

℃以上にも及ぶ。

降水量にも南北の差が見られ、北部では1年に300～400mmの降水があるのに対し、南部では200mm以下と乾燥した気候になっている（図-3）。そのため、北部では森林が生育する一方で、南部には砂漠が広がるという植生の分布が作り出されている。年降水量のおよそ8割は5月から9月の暖候期にもたらされ、植物の成長を支えている。

図-4に、モンゴル国の行政界の一つであるアイマグ（日本の県に相当）を示す。モンゴル国には21のアイマグとウランバートル特別区があり、アイマグの下には347のソム（日本の郡に相当）が設置されている。

## 2. 使用データ

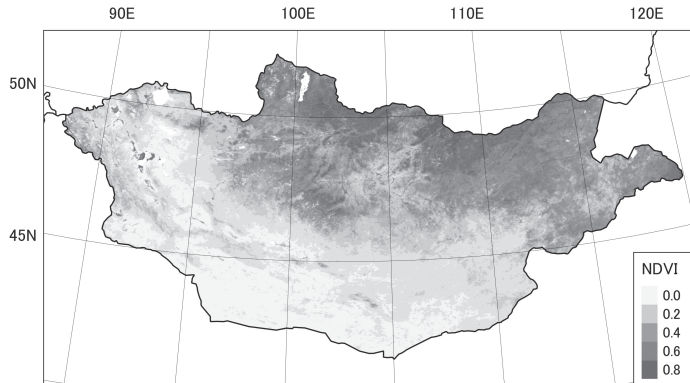
### 2.1 植生指数

陸上に生育する植物の緑の葉は、太陽光のうち赤色の可視光線をよく吸収し、一方、近赤外線強く反射する性質を持つ。正規化差植生指数（Normalized Difference Vegetation Index: NDVI）は、この性質を利用して(1)式から算出される指数であり<sup>4)</sup>、地表上の植物量の指標となるため、多くの植生・生態系研究で用いられている。

$$NDVI = (IR - R) / (IR + R) \quad (1)$$

ここで、IRは人工衛星に搭載したセンサーで測定された近赤外線の反射率、Rは赤色可視光線の反射率である。NDVIは0から1の間の値をとり、1に近いほど多くの植物が生育していることを表している。

4) Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., and Deering, D.W., "Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS", Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I: 309-317, 1973.



注：色が濃いほど植生量が多いことを示す。

図-5 モンゴル国における NDVI（植生指数）の分布

本研究では、米国 National Aeronautics and Space Administration (NASA) によって公開されている Vegetation Index and Phenology Vegetation Indices 15 Days (VIP15)<sup>5)</sup> データセットの NDVI を用いて解析を行う。VIP15 は 1981 年～2014 年までの 34 年間について、前半 (1981-1999) は Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)、後半 (2000-2014) は Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) の反射率データを用いて作成されている。地球全体を緯度経度 0.05 度 (約 5600m) の分解能でカバーしている。本研究では、モンゴル国を含む北緯 40 度～55 度、東経 85 度～125 度の領域について、1981 年～2014 年の夏季 (6・7・8・9 月) のデータをダウンロードし、各年の NDVI の最大値を抽出して解析を行った。

図-5 は、2014 年 8 月の NDVI の分布図である。モンゴル国では、図-3 に示したように降水量の南北勾配があるため、NDVI は湿潤な北部で高く、乾燥した南部で低いという分布を示している。

## 2.2 気候データ

通常、世界各国の気象機関によって気温や降水量の観測が行われているが、これらの地上観測データに統計的な内挿を施すことで、緯度経度の格子点における長期気象データセットが作成されている。本研究では、英国 East Anglia 大学 Climate Research Unit (CRU) によって作成・公表されている 0.5 度グリッドの月平均気温と月降水量 (CRU TS ver.4.2)<sup>6)</sup> を利用した。解析

5) Didan, K., Barreto, A., NASA MEaSUREs Vegetation Index and Phenology (VIP) Vegetation Indices 15Days Global 0.05Deg CMG [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. DOI: 10.5067/MEaSUREs/VIP/VIP15.004, 2016.

6) Harris, I., Jones, P.D., Osborn T.J., and Lister, D.H. "Updated high-resolution grids of monthly climate observations-the CRU TS3.10 Dataset", *International Journal of Climatology*, 34, 623-642, 2014.

対象期間は NDVI とあわせて 1981 年～2014 年とする。

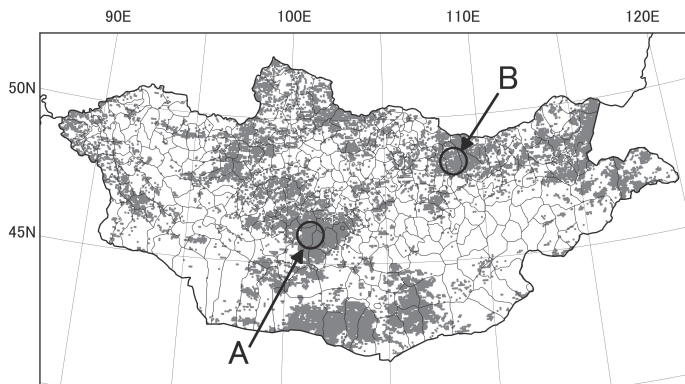
### 2.3 家畜数データ

モンゴル国では遊牧が基幹産業となっており、主にウシ・ウマ・ヒツジ・ヤギ・ラクダの5種類の家畜が飼育されている。遊牧民の家畜飼育頭数は、毎年12月に取りまとめられ、モンゴル国統計局 (Mongolian Statistical Information Service)<sup>7)</sup> によって公開されている。本研究では1981年～2014年のソムごとに集計された家畜種別の飼育頭数のデータを用いる。

## 3. 結果と考察

### 3.1 植生指数の経年変化

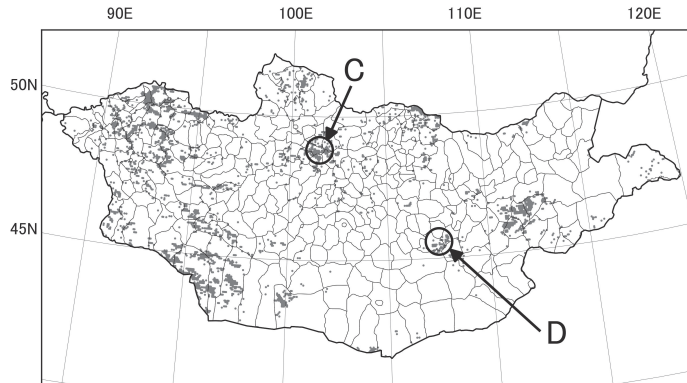
モンゴル国には、もともと砂漠である場所も分布していることから、現在の状態のみから「砂漠化」を判別することは適切ではない。そこで、時間的変化に着目した解析を実施した。まずグリッドごとに1981年～2014年のNDVIデータに線形回帰を施し、統計的に有意な増加・減少傾向の見られる地点を抽出した(図-6, 図-7)。この2枚の図を見比べると、解析対象とした34年間については植生が経年的に減少した地点よりも増加した地点のほうが多いことが読みとれる。こうした増加・減少の経年変化の傾向を見るために、NDVIが有意に増加した地点からA・Bの2地域を、また有意に減少した地点からC・Dの2地域を抽出し、時系列グラフを作成した(図-8)。湿潤な北部と乾燥した南部でNDVIの大きさに違いが見られ、また年に



注：図中のA・B地点におけるNDVIの時系列を図-8(左)に示す。

図-6 1981～2014年にNDVIが統計的に有意な増加傾向を示すグリッドの分布

7) Mongolian Statistical Information Service (URL: <http://out.easycounter.com/external/1212.mn>), 2019/01/31 最終閲覧.



注：図中のC・D地点におけるNDVIの時系列を図-8（右）に示す。

図-7 1981～2014年にNDVIが統計的に有意な減少傾向を示すグリッドの分布

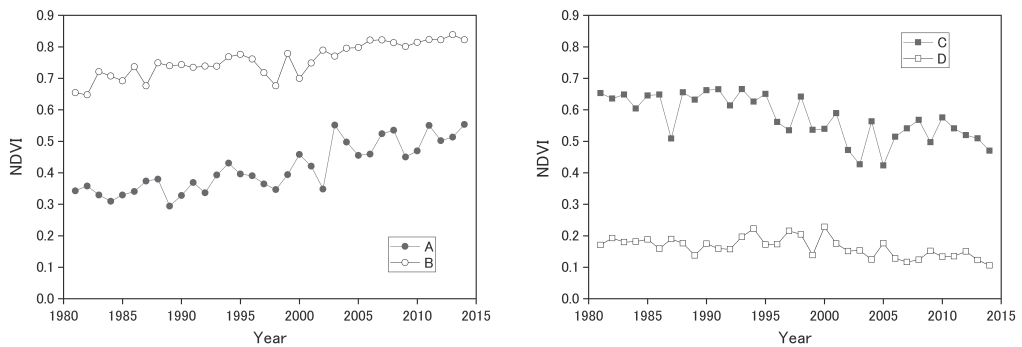


図-8 図-6中のA・B地点（左）および図-7中のC・D地点（右）におけるNDVIの経年変化

よって大きく増加・減少するという短期的変動も読み取れるが、A・B地点では1981年～2014年に徐々に増加する様子が見え、C・D地点においては、特に1995年以降に減少傾向が顕著であることが分かる。

### 3.2 気温・降水量の変動

気候変動は乾燥・半乾燥地における植生変動の大きな要因の一つと考えられるため、ここでは、気温・降水量の変動傾向について解析した。用いた気候データセットでは月ごとの平均気温と積算降水量が得られるため、これらのデータから、年平均気温・年降水量、ならびに春（3・4・5月）、夏（6・7・8月）、秋（9・10・11月）、冬（12・1・2月）の季節ごとの平均気温・積算降水量を算出し、NDVI同様に、グリッドごとに1981年～2014年の各要素の線形回帰係数を求めた。図-9は年平均気温について、図-10は年降水量について、有意な増加・減少傾向

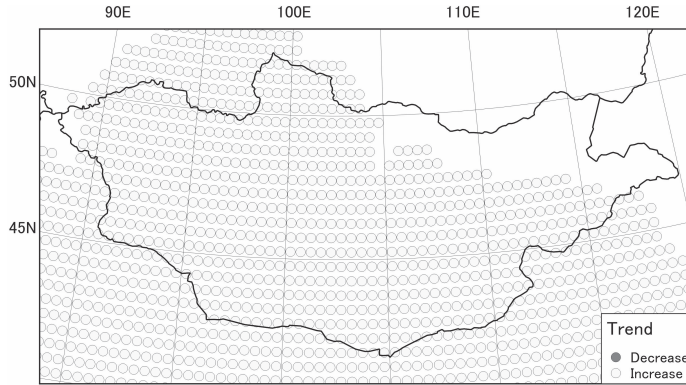


図-9 1981～2014年に年平均気温が統計的に有意な増加・減少傾向を示すグリッドの分布

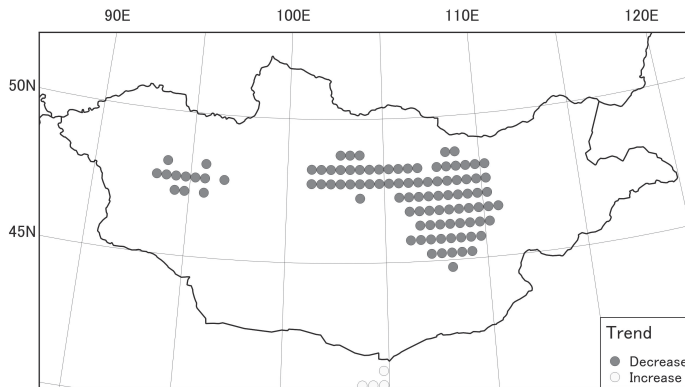


図-10 1981～2014年に年降水量が統計的に有意な増加・減少傾向を示すグリッドの分布

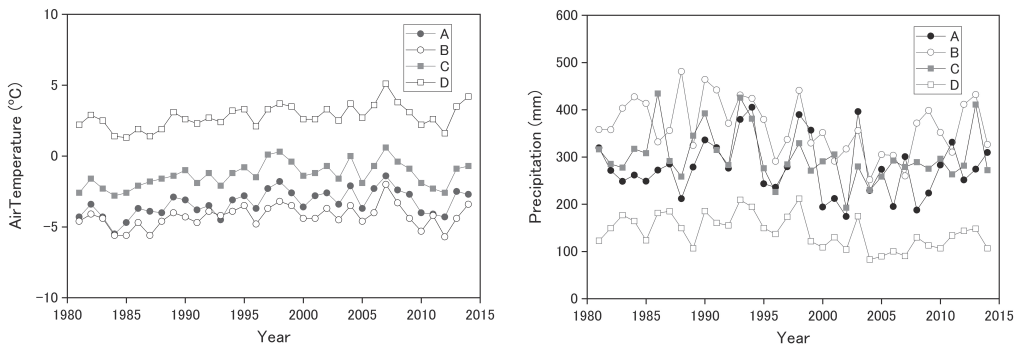


図-11 A・B・C・D地点における1981～2014年の年平均気温（左）および年降水量（右）の推移



を示したグリッドを示している。年平均気温は周辺国も含めたほぼ全域で増加（上昇）する傾向が見られた。また季節的には、冬は増加・減少ともに有意な変化を示す地点はほとんどなかったが、それ以外の季節は広い範囲で気温が上昇することを示し、とくに夏に気温上昇が大きいことが分かった。年降水量は、モンゴル国の中央部において減少する傾向が得られた。季節的には、夏・秋に年降水量同様の減少傾向が見られたが、冬・春には反対に降水量が増加する傾向にあることが分かった。

前出のA・B・C・D地点について、年平均気温（図-11左）の経年変化を見ると、2010年前後に寒冷な年が続くなど年々の変化は見られるものの、全体としては気温が上昇する傾向を示し、特にA・D地点では $0.04^{\circ}\text{C}/\text{年}$ を超える高い上昇率となっている。年降水量（図-11右）にも大きな年々変動が見られる。4地点の中で、有意な変動を示したのはD地点のみであり、 $1.6\text{mm}/\text{年}$ の割合で減少する傾向が得られた。

### 3.3 家畜頭数の推移

2014年にモンゴル国で飼育されていた5家畜（ウシ・ウマ・ヒツジ・ヤギ・ラクダ）の合計頭数は、およそ5200万頭であった。1981年にはおよそ2500万頭であったため、この間に2倍以上に増えたわけである。その後も飼育頭数は増え続け、2018年には6600万頭を超えるに至った<sup>8)</sup>。2014年の各ソムの飼育頭数の分布を図-12に示す。一般に首都ウランバートルの近郊において家畜頭数が多いと考えられているが、実際にはウランバートルの西側のボルガン県、アルハンガイ県、ならびに東側のヘンティ県で家畜頭数が多く、最も多かったのはウランバートルから西に450kmほど離れたアルハンガイ県のErdenemandelソムであった。

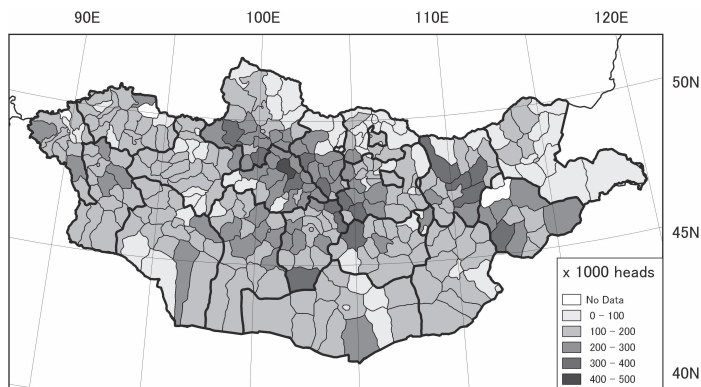


図-12 モンゴル国の各ソムにおける2014年の5家畜の合計頭数

8) 注7)と同じ。

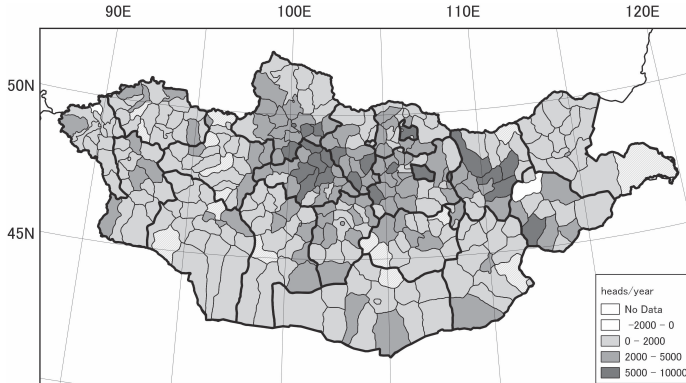


図-13 モンゴル国の各ソムにおける家畜の合計頭数の増減率の分布

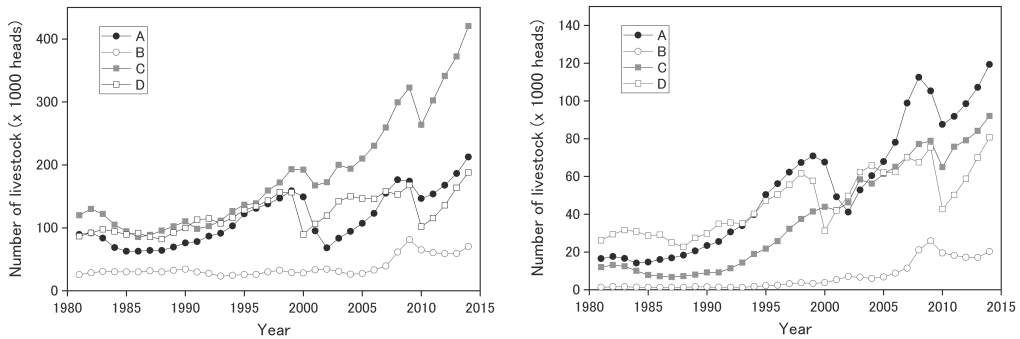


図-14 A・B・C・D地点における家畜の合計頭数（左）およびヤギの頭数（右）の推移

次に、各ソムの1981年～2014年の家畜頭数の増加率（線形回帰係数）を算出した。5家畜の合計頭数はほとんどのソムで増加傾向を示し、特にウランバートル、ボルガン県、アルハンガイ県、ヘンティ県といった北部で増加率が高いことが示された（図-13）。家畜種の内訳を見ると、ウシ・ウマ・ラクダといった大型の家畜は、多くのソムで減少傾向あるいは微増であるのに対し、ヒツジ・ヤギは増加傾向を示すソムが多く、特にヤギは8割以上のソムで高い増加率となっていた。ヤギの毛はカシミヤの原料として高値で取引されるため、現金収入を求める遊牧民が飼育頭数を増やしているものと考えられる<sup>9)</sup>。

前出のA・B・C・D地点に位置する4つのソム（A: Nariinteel, B: Mungunmorit, C: Erdenemandel, D: Gurvansaikhan）における5家畜の合計頭数の推移を図-14左に示す。モンゴル国では1990年から始まった民主化・市場経済化にともない、国が所有していた家畜等の資産

9) 白石典之「温故知新の環境問題」白石典之編『チンギス・カンの戒め』同成社、12-23, 2010.

が個人に分配され、その結果、家畜の数は急激に増加した<sup>10)</sup>。一方、モンゴル国では数年周期でゾドと呼ばれる寒雪害が起り、家畜の大量死が引き起こされている<sup>11)</sup>。こうした状況を反映して、A・C・D地点では、1990年以降の家畜数の増加と2000年～2002年および2010年のゾドにともなう家畜数の減少が記録に現れている。B地点はほかの3地点とやや傾向が異なり、家畜数自体が少なく、また増加傾向が見られるのは2005年以降であった。

#### 3.4 モンゴル国の砂漠化の現状とその要因

モンゴル国を含むアジアの乾燥・半乾燥地域の砂漠化については、近年、様々な研究が行われている。Nandintsetseg and Shinoda (2013)<sup>12)</sup>は、モンゴル国内の12地点において1974年～2010年に実測された植物地上部バイオマス (Above-ground Biomass: AGB) のデータおよび気象・土壌データを解析した。その結果、12地点の平均AGBは1974年から2010年の間に有意に減少し、その要因は夏(6～8月)の土壌水分の減少であると結論付けた。このような長期・広範囲の植物の実測データを得ることは非常に難しいため、近年は人工衛星によって測定される植生指数 (NDVI) を利用した研究が多く行われている。成岡・小川 (2005)<sup>13)</sup>は中国新疆ウイグル自治区の放牧地を対象として、1989年と2000年のNDVIの比較を行い、1989年に対して2000年はNDVIが17%減少し、その要因としてヒツジの放牧頭数の増加が考えられることを示した。またXu et al. (2016)<sup>14)</sup>はカザフスタン、キルギスタン、タジキスタン、トルクメニスタン、ウズベキスタンを対象に、2000年～2012年のNDVIと地上気象データとの関係を解析した。その結果、草原のNDVIは減少傾向を示し、夏の降水量の減少と蒸発散量の増加による水分の不足が植生の減少を引き起こしたと指摘した。このように、近年のNDVIの減少 (= 砂漠化の進行) を示唆する研究がある一方で、Kimura (2018)<sup>15)</sup>はNDVIとSatellite-based Aridity Index (SbAI: 人工衛星を用いて測定した地表面温度の日変化から推定した乾燥度指数) を用いて、全球規模の砂漠化を評価した結果、2012年～2016年の5年間にあつては、アジアでは砂漠化した土地の面積が減少する傾向にあつたことを示した。

10) 尾崎孝宏「社会主義から民主化へ」白石典之編『チンギス・カンの戒め』同成社、141-159, 2010.

11) Jirigala・大西健夫・千家正照・Shiirev-Adiya, S., 「ゾド被害を引き起こす気象要因の分析と評価—モンゴル国東部ドルノド県を対象にして—」『農業農村工学会論文集』, 283巻, 33-40, 2013.

12) Nandintsetseg, B. and Shinoda, M., "Assessment of drought frequency, duration, and severity and its impact on pasture production in Mongolia" *Natural Hazards*, 66, 995-1008, 2013.

13) 成岡道男・小川茂男「リモートセンシングデータを活用した砂漠化の評価」『農業土木学会誌』, 73巻, 1077-1082, 2005.

14) Xu, H., Wang, X., and Zhang, X., "Decreased vegetation growth in response to summer drought in Central Asia from 2000 to 2012", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 390-402, 2016

15) Kimura, R., "Global distribution of degraded land area based on dust erodibility determined from satellite data" *International Journal of Remote Sensing*, DOI:10.1080/01431161.2018.1444295, 2018.

本研究では、NDVI のデータが得られる 1981 年～2014 年の 34 年間を解析対象としたが、この期間においては、モンゴル国では NDVI が減少した地点よりも増加した地点の方が多く、先行研究<sup>16)</sup>で報告されているような砂漠化の傾向は検出されなかった。一方、本研究の結果は Kimura (2018)<sup>17)</sup> が示した結果とは一致している。植生の変化は空間スケールや解析対象期間によって異なる傾向を示す可能性があり、また NDVI は地表の緑の程度を反映はするものの、植物の種類の変化や土壌の質の変化を知ることはできないため、今後は対象期間を変更した解析や現地での植生・土壌調査などを併せて行っていく必要がある。

一般に、乾燥・半乾燥地では植物の成長期の降水量が植生の量を規定する主要因であると認識されている。本研究で、NDVI の減少傾向が見られた D 地点では、年降水量の有意な減少が生じており (図-11 右)、降水量の減少にともなって植生が減少したと考えることができる。しかし、降水量が減少した全ての地域 (図-10) で NDVI が減少しているわけではない。NDVI が減少していた C 地点は、家畜の増加率が高い地域と重なっているが (図-13)、こちらも家畜の増加率の高い全ての地域で NDVI の減少が見られるわけではない。またヤギは他の家畜とは異なり、根こそぎ草を食べるため、草原に及ぼす悪影響が大きいと言われているが、A 地点ではヤギの増加傾向が大きいにもかかわらず (図-14 右)、NDVI は増加する傾向を示している。

以上の解析結果から、モンゴル国における気候変動、遊牧家畜数の変化、砂漠化の関係について次のように考察することができる。

- NDVI の解析結果は、1981 年～2014 年の 34 年間については植生が減少した地域は限られ、逆に増加した地域の方が多いことを示しており、「砂漠化が進行している」という一般的な認識とは異なる結果となった。
- 地球温暖化の影響を受け、ほぼ全域で気温が上昇し、また中央部において降水量が減少する傾向にあることが示された。
- 遊牧家畜頭数は、モンゴル全域で 1981 年～2014 年の間に 2 倍以上に増加し、特にウランバートルを中心に東西にのびる地域で増加率が高かった。
- 降水量が減少した地点や家畜数が増加した地点で植生 (NDVI) の減少が生じているケースも見られたが、降水量の減少や家畜の増加が必ずしも植生の減少を引き起こすわけではないということが示唆された。

---

16) 注 12)・13)・14) と同じ。

17) 注 15) と同じ。