

モンゴル草原の遊牧から定住への社会変遷と 日本への影響

Transformation of Social System from Traditional Nomadism to Modern
Settlement in Pastoral Region of Mongolia and Its Impact on Japan



星 野 仏 方*・ソ リ ガ**・
祖父江 侑 紀**・出 村 雄 太**・
ツェデンバプレンブスレン**・永 海**
Buho HOSHINO*, Suriga**,
Yuki SOFUE**, Yuta DEMURA**,
Tsedendamba PUREVSUREN**, Yong-Hai**

キーワード：遊牧と定住，草原，砂漠化，黄砂の発生，人工衛星

1. はじめに：脆弱なモンゴル高原の自然環境と生態系

地球環境は温暖化の傾向にあると同時に，乾燥化の傾向にあることが気象観測地点の記録と最近の研究で徐々に明らかになってきた。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の最新の報告（IPCC 2007）では，地球全体の年平均気温は1906年から2005年までの100年間で0.74℃の割合で上昇している。それに対して，モンゴル国の年平均気温は，この50年間で西部地域が1.8℃，中部地域が1.0℃，東部地域が0.3℃の割合で上昇し，全体でも0.7℃に達している（D'

* 酪農学園大学 農食環境学群 環境共生学類 Department of Environmental Symbiotic, College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University

** 酪農学園大学大学院 酪農学研究科 Graduate School of Dairy Science, Rakuno Gakuen University

Arrigo *et al.* 2001)。同時に、モンゴル高原の北部地域では夏の降水量の減少傾向が明らかになり、永久凍土が解け、ムンゲンモリト (Mungunmort) 地区ではカラマツのタイガが過去30年間で1 km後退した (津久浦ら 2010)。1℃の地温上昇で永久凍土が20~30km後退するとされている。近年の温暖化や乾燥化により、この辺りの降水量は過去68年間で7%も減少し (Jacoby *et al.* 2003)、永久凍土の南限は過去35年間で東部のケンティ地域において過去35年間で少なくとも1℃の上昇で北側へ20~30km後退している (D'Arrigo *et al.* 2001)。永久凍土は、2040年までに約28%、70年までには25%融解すると予測されている (Batima 2000) ため、森林と草原の境界域に生息する植物は気候変動によってさらに厳しい水ストレス状態に置かれ、永久凍土はアジアから姿を消してしまう危険すら迫っている。

モンゴル高原全域においても、気候変動によって高山・ツンドラ・タイガ地域では2020年までに0.1~5%、50年までに4~14%の森林の減少が予測され、森林ステップ地域では25年までに多くて約3%、50年までに約7%の森林の減少が予測されている (IFFN 2007)。降水量の減少が土地の退化、砂漠化およびそれに伴う遊牧地域の縮小、牧畜生産の衰退などを引き起こすとされている。

乾燥地域では水が自然環境変化の原動力である。アフロ・ユーラシア大陸の地理学的、生物学的特徴として、砂漠、草原、サバンナ、山地、山地ステップが分布し、モンゴル高原はその一部である。年降水量250mmの乾燥地域と500mm以下の半乾燥地域では水資源が乏しいことから、水が自然環境変化の原動力にもなっている。図1は1961~1990年のモンゴルの年平均降水量を示している。モンゴルの森林地帯では年平均降水量が350mm以上あり、山地ステップ地域は200~350mm、中央ゴビ (モンゴル語で乾燥地をゴビという) は125~200mm、南ゴビは75~200mmの間に分布している。南西の砂漠地帯は75mm以下であり、降雨が年に1回あるかないかの程度である。それでも、乾燥に強い植物が極乾環境の下で生えている。ゴビに分布する植生は、わずかの雨量に大きく左右されている。ゴビは土壌が常時乾燥した状態にあり、そこに分布する植物は常に強い水分ストレスにさらされている。

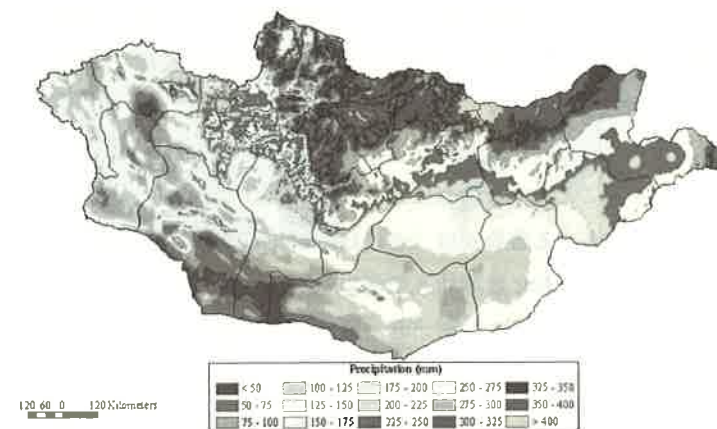


図1 1961-1990年のモンゴルの年平均降水量 (データソース: The Climate Source, INC. 2002)

植物は水分欠乏が致死的な傷害をもたらさぬようにさまざまに工夫を凝らして生活している。例えば、短命植物は地中深く根を張り、地上部が乾燥状態にあっても1~2回の雨を効率的に利用して十分な水を確保し、発芽、開花、成熟のプロセスをたどり、一生を終える。従って、通常、ゴビの植物は地下部分が地上部分よりよく発達し、地下のバイオマス (生物体) 量が地上よりも大きいのが多数である。また、ある所では、サボテンのように葉をなくして表面積を減らし、水を蓄えて乾燥ストレスを受けないようにしている植物もある。乾燥環境で生きるために、細胞液内の糖、アミノ酸、塩類などの濃度を上げて浸透圧を高め、乾燥にさらされても細胞が傷害を受けないようにしているのである。

2. 数千年も引き継いだモンゴル高原の伝統的遊牧システム

モンゴル高原の伝統的遊牧では、遊牧民—牧畜—土地 (草原) が一つのシステムである。ゴビでは、わずかな植生に依存した遊牧が可能で、半ゴビでは牧

畜だけでなく、雨水依存型の農業を営むことができる。ただし、植物の有無や多少は時期や場所によって違ふし、山の北斜面と南斜面では大きく異なる。遊牧民はそれをよく知っており、同じ場所を長期にわたって繰り返し利用することはなく、その年の草の成長具合を見極めて越冬地から夏の放牧地までを選んでいる。一冬を過ごした家畜は春にとってもやせ、体力が弱っている。そのため、山地ステップで越冬する遊牧民は、春には家畜にできるだけ下り道を歩かせて夏の放牧地に向かい、秋には脂肪と栄養をたくさん蓄えた家畜に上り道を歩かせて越冬地に向かうのである。雨、雪、風、気温、地形など地質学的な現象を起こす自然の力、いわゆる地球の「外的営力」を上手に利用してきたアフロ・ユーラシアの「遊牧文化」は、自然環境と一体となった持続型の生産・生活スタイルと見てもよいであろう。

モンゴル高原の遊牧文化は、アフロ・ユーラシア大陸の中央部に広がる乾燥地文明の一部であり、冷帯草原型乾燥地文化に分類され、その気候は温暖・乾燥ではなく、寒冷・乾燥といわれている（嶋田 2005）。文明の形成と発展にとって、乾燥地文明は最も重要な役割を果たしてきた。人類の誕生は氷河期が始まる地球の冷却期に相当するとされ（嶋田 2005）、世界3大宗教（仏教、キリスト教、イスラム教）の発生地はアフロ・ユーラシア乾燥地である。特に、アフロ・ユーラシア内陸の乾燥・半乾燥地域（図2）における牧畜文化は、水と草を求めて1年中移動を繰り返す遊牧という共通項を持っている。遊牧とは「遊牧民（牧畜民）、牧畜（モンゴルではウマ、ウシ、ラクダ、ヒツジ、ヤギを五畜と呼ぶ）と土地（放牧可能な土地）が1つのシステムになり、遊牧民はこのシステムの中で、いつも最も良い草と水場を求めて1年中移動しながら生産と生活を営んでいる（星野 2009）ことを指す。

図2（b）では21世紀の今日まで伝統的な遊牧を続けている主な地域を示している。典型的なのはアフリカのマサイ族、キクユ族、及びズールー族、またアジアのモンゴル族、北欧のサーミ人などが含まれている。彼らは最も新鮮な水と草を求めて、今も季節移動しながら放牧をする遊牧の伝統を保っている。

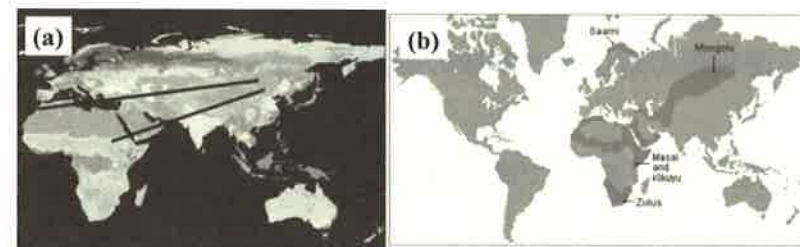


図2 アフロ・ユーラシア内陸の乾燥地帯（月平均降水量が25mm以下の地域は乾燥地域で、50mm以下の地域は半乾燥地域にあたる。図2（a）は2002年のUSGSの衛星データから作成植生被覆マップ。線内地域はアフロ・ユーラシアの乾燥・半乾燥地域である；図2（b）は今日まで伝統的遊牧を継続されている地域を示す）

とても美しい惑星—地球は確かに乾いている。気象モデルのシミュレーション結果から見ると、少なくとも過去10数年、中国の黄河地域および内モンゴルでは乾燥化が進行している（安成 2007）。もし、温暖化時に海面水温がエルニーニョ的に上昇すると、陸と海の温度差によって夏季アジアモンスーンの力が弱まり、内モンゴルへ運ばれる水蒸気が今までの前線（モンスーン限界）に届かない可能性がある。温暖化による内陸の降水量の増減傾向はまだはっきり検出されていないが、少なくとも降水範囲は縮小の傾向にある。

モンゴル語の「ゾド」は広い意味では「自然災害」のことで、特に夏季の大干ばつと冬季の大雪災害を指す。2009年の冬、モンゴルで10年ぶりの記録的大寒波・ゾドが発生し、700万頭の家畜に被害が及んだといわれている。このゾドによる家畜被害の本当の原因は、同年夏の大干ばつで家畜が十分な餌を摂取できず、やせ果てたまま冬を迎えたことにある。

こうした記録的干ばつ・寒波がモンゴルの家畜頭数を左右する。天候や気温に恵まれた年は家畜が増え、ゾドに遭うと減る。すなわち、モンゴルの遊牧民は大自然の試練の中で、家畜の頭数を“自然”に制御し、“自然”に一定の水準に保ってきた。つまり伝統的遊牧では、家畜は草原の容量をはるかに超えて増え続ける。10年、20年の周期で襲ってくるゾドは、家畜の頭数を制御し、草原を砂漠化から守っている。

3. 遊牧民の定住化と草原の砂漠化

1) 定住化に伴う過放牧で草原の砂漠化が進行

モンゴル高原に暮らす遊牧民にとって、ゾドは望ましくない“災害”であることに間違いはないが、長年のゾドとの闘いの中で、遊牧民はゾドと向き合う知恵を得た。例えば、2007年の大干ばつでは、調査地の遊牧民の1人が家族と家畜を連れてドンドゴビ(モンゴル中央部の半乾燥地)から230km北のハンガイ(半湿潤地域)まで移動し、大干ばつを乗り越えた。また、大寒波に遭った年には、暖かい場所に移動して越冬(遊牧民の越冬地は比較的同じ場所に固定されている)する。こうした自己防衛行動は、モンゴル高原の生態環境の保護につながっている。遊牧民が去り、枯れ果てた後に大地が芽生える時期が得られるからである。

しかし、家造って定住した牧畜民は、ゾドに襲われても同じ場所に繰り返し放牧せざるを得ず、乾燥で弱った大地はさらに過放牧されることで、草原の生態系が急激に変化する「レジームシフト」が起き、草原の砂漠化を生み出している。その例を1980年後半から定住化が進んでいる内モンゴルに見てみよう。内モンゴル全体では、1960年から2000年までの40年間で、少なくとも年平均1万1,000km²の土地が砂漠化している(Liuら, 2007)。例えば、中央部に位置するシリングル盟・正藍旗(盟・旗は行政区画の単位)の場合、2008年までに草原の72%が砂漠化し、うち30%は最も深刻な移動する砂漠(流動砂漠)になっている。その影響で近年、広大な内モンゴル草原が黄砂の新たな発源地となっている(星野 2009)。毎年春、北海道の空を覆うのは内モンゴルで発生した黄砂なのである。

内モンゴルから吹き寄せる黄砂は、以前は風物詩のようにいわれていたが、今や人の命まで脅かす危険なものとなり、朝鮮半島や日本列島に影響を及ぼしているだけでなく、はるばる太平洋を越えて米国中部まで飛んでいっているの

が米航空宇宙局のオゾン全量分光計を用いた人工衛星データで確認できる。人工衛星データに基づく最新の研究でも、黄砂の発生源は内モンゴルの草原(ステップ)であることが明らかになっている(図3(a, b))。

今日、黄砂が全球規模の環境問題になったことを疑う人はいないだろう。ただし、黄砂の被害を最も受けているのは、黄砂の発源地域に暮らす人々であることに間違いはない。内モンゴルのシリングル盟アバガ旗(盟・旗は行政区画の単位)辺りの草原植生の被度や生産力は放牧強度(放牧面積当たりの家畜頭数)によって異なるが、近年の定住化に伴う小範囲での放牧による過放牧が著しく進んでおり、そのために草原の退化と砂漠化が進行しているということである。放牧強度が大きくなるほど、定住拠点周辺の踏圧と採食圧が強くなり、草原の

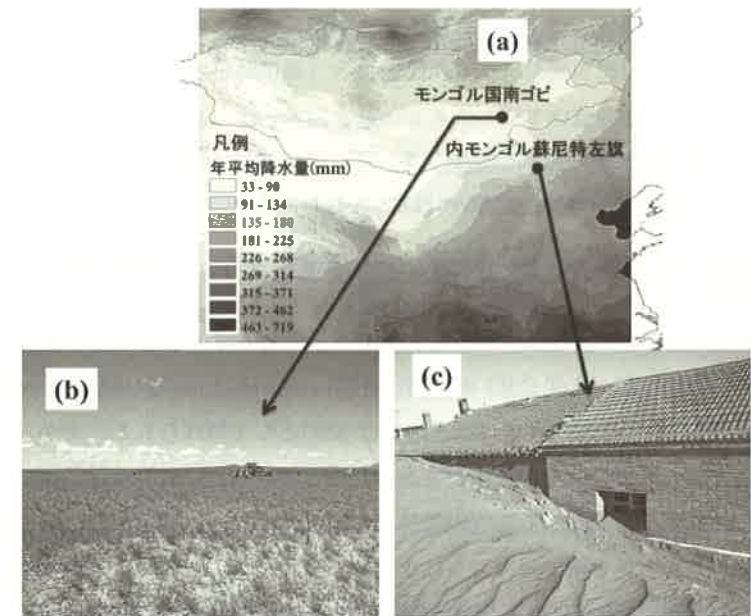


図3 (a) 遊牧と定住草原の比較(但し、(a)はモンゴル草原の年平均降水量の分布(ゴビ砂漠地帯は134mm以下である); (b)はモンゴル国南ゴビ地区(年平均降水量は99mm); (c)は定住した内モンゴル蘇尼特(ソニット)左旗で、年平均降水量は180mm)

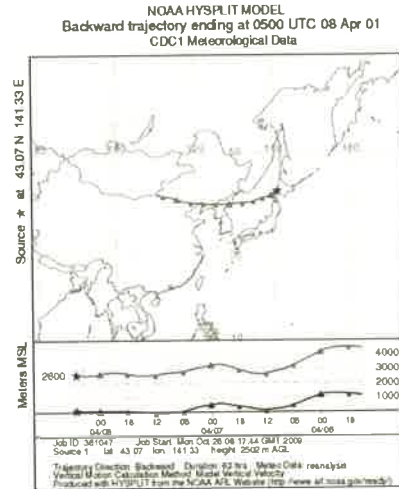


図3 (b) HYSPLIT MODELの結果(黄砂発生地はN43.11°; E111.58°付近)

退化と土地の荒廃が深刻になってきている。この地域の砂漠化は完全に人為的原因によるものであることが徐々にはっきりしてきた。

2) 放牧地の私有化と柵の設置が従来型遊牧スタイルを妨げる

定住化の背景には、1980年代初頭に、生産責任制によって草原と家畜が公有制の下で集団使用（人民公社）から私有使用（国から土地の使用権を30～40年間借りられる）へと変わったことが1つの要因として挙げられる。南からの漢人移民人口の増加によって農耕が促進したことや放牧地の私有地化に伴って昔ながらの長距離を移動する遊牧が維持できず、分配された私有地だけの放牧となり、その土地を柵で囲むようになった。その結果、柵の形での放牧地の減少や荒廃が進んでいる。

中国政府は20年前から生産労働責任制度を導入し、土地を生産労働者である個人に30～40年間貸し出した。2002年に退耕還林条例、03年には退放還草事業を実施し、家畜の放牧を強制的にやめさせ（禁牧政策）、放牧草原を荒地草原

に戻すことで、退化した放牧草原の回復を目指した。また、生態環境の修復や保全を目的に、先住民（遊牧民）たちを砂漠化など生態系の破壊が著しい土地からはかの土地へ移民させる生態移民政策が実施された。しかし、実際に生態移民を実施することによって遊牧民たちの収入は減り、移民した土地の荒廃が起こっている（小長谷ら 2005）。さらに、家畜と遊牧民がいない廃棄草原では、家畜が食べない（嗜好性がない）、乾燥に強いヨモギやアカザのような牧草としては価値の低い草だけがたくさん成長し、内モンゴルの草原は元の優良草原から放牧価値のない草原へ荒廃していく恐れがある。それから内モンゴルの草原地帯では、昔ながらの半野生型の自然な遊牧が難しくなり、中国政府の誘導政策によってこの辺りの遊牧民の定住化が始まった。その後、中国政府の後押しで定住化がさらに進み、モンゴルとの国境沿いまで広がり、現在ではもはや中国境内では遊牧を続けている人はほとんどいなくなった。定住化の直接要因は土地の所有権（正式には使用権）の分配にあった。間接要因は人口と家畜の増加にあると考えられる。数千年間も続いてきたアジアの遊牧生活は、この辺りでは終わった。遊牧民にとっては、昔から土地の所有や境界があいまいであったが、土地が個人所有になると遊牧民の心の中にも境界線が生まれた。「ここまではおれの草原」といった概念が生じ、自分に割り当てられた草原区域だけを守ればよいという思想が生まれ、自分の所有地を柵で守ろうという動きが一気に広がった。地平線しか見えない土地に柵がいっぱい出現し、柵によって草原が分断され、家畜の行動が狭い範囲内に制限され、自由な遊牧生活が不可能になってしまった。さらに、さまざまな役割の柵が現れ始めた。「農地を開発し、農作物を守るために家畜を排除する柵」「採草地柵」「越冬用柵」「荒地柵」などが草原を囲み、調査地では家畜の行動範囲（移動距離）は平均10kmしかなかった。

内モンゴルの草原の土壌水分量は南・北斜面で当然異なり、年によって草の生産力のばらつきは大きい。遊牧の場合、家畜は最も新鮮な草を求めて常に移動する。しかし、柵によって行動が制限された家畜は草の根まで掘り起こしてしまうため、草原が再生力を失い、砂漠になったのである。

禁牧と生態移民によって黄砂は収まる気配は全く見えない。むしろ遊牧民と五畜（ヒツジ、ヤギ、ウシ、ウマ、ラクダ）が消えた草原は枯れ果て、放牧草原の植物種の多様性が激減し、放牧地としてますます価値を失う結果になっている。

図4で示したように、遊牧型放牧と定住型放牧システムでは家畜の1日の行動は明らかに異なることが家畜の衛星（GPS）追跡で分かった。遊牧システムでは（図4a）家畜の行動パターンは比較的単純で、家を出た家畜は遠くの放牧地を目指して食べながら歩き、満腹まで食べてから水場（井戸、河川、泉など）に向かう。水を飲んだ家畜は太陽が沈むまで家の近くで食べる；日々によって向かう方向が若干異なる。図4aの場合は二日間の行動を記録したもののだが、向かっている方向と利用した草原が重なっていない；但し、定住システム（図4b）では柵に制限された家畜は狭き空間の中で、一日中同じ場所を何回も繰り返して利用する。図4bは三日間の行動を記録したデータであるが、何れも同じ場所に複数回戻っていることが読み取れる。つまり、柵内の放牧圧は高く、柵によって人為的な過放牧状態を作り上げた。その結果図5で示したよ

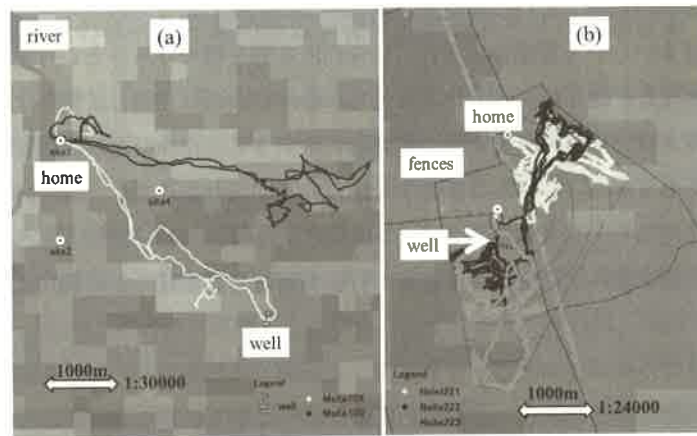


図4 (a) モンゴル国遊牧民の家畜の1日の行動；4 (b) 内モンゴルの定住民の家畜の1日の行動

うに柵によって草原がモザイク状に砂漠となり、砂漠化は草原の広い範囲に及んでいる。

柵内外の土地の退化を明らかにするために、われわれは人工衛星による時系列データを入手し、土地被覆（草原の植生産力）の変化を抽出した（図5を参照）。図5の地域は内モンゴル東部ホルチン砂地であり、草原の退化と砂漠化が深刻な地域の1つである。図5からも分かるように、1999年の衛星画像ではたくさんの柵があり（1990年代後半の中国政府による土地の個人配分政策実施後の定住化に伴って出現した）、2000年写真では柵の中の植生は柵の外より高いが、2008年写真では柵の形すら消えてしまい、2006年の衛星画像では大半が砂漠になっていることが画像解析で明らかになった。実際、現地調査結果からも、定住後に柵を設置したことにより、柵の内外ともに乾物量（DMP）が減少し、偏西風によって柵の外側の砂が柵の中まで移動し、柵の形で新たな砂丘が形成されていることがわかった（図5）。

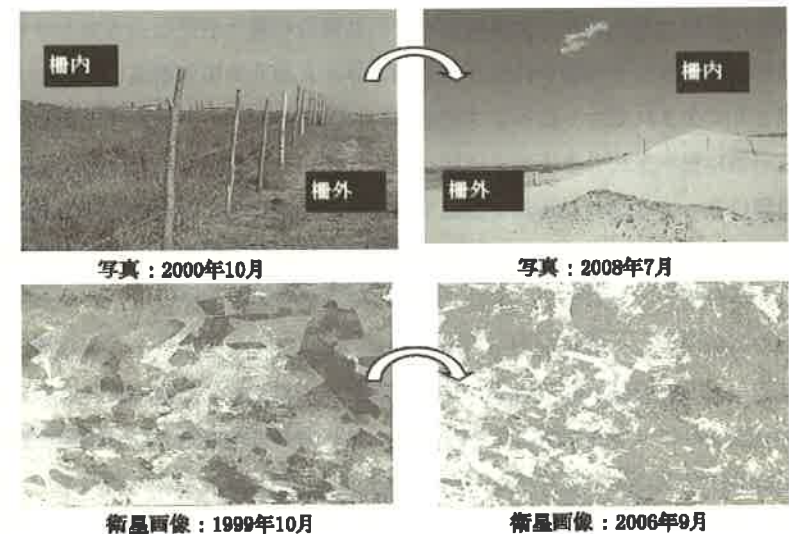


図5 内モンゴル東部ホルチン地区における柵の設置によって引き起こる草原の砂漠化（但し、衛星画像の濃い色は良い草原；薄い色は成長が悪い草原；白色は）

4. 市場経済の影響でカシミヤ・ヤギが増加

遊牧を続けられているモンゴル国では市場経済の波に押されて、家畜の構成が大きく変わることによって、新たな環境問題が生じている。モンゴル国の家畜は大きくウマ、ウシ、ヒツジ、ヤギ、ラクダの「五畜」に分類できる。昔からラクダとヤギは南部・南西部の乾燥・半乾燥地帯（ゴビ）や砂漠地帯に、ウマとヒツジは中部の広い草原（ステップ）と東部の低地に、ウシは北西の草丈の高いアルタイ、ハンガイ、フブスグル地方の高山地帯に多く分布していた。五畜はそれぞれの領域で行動し、同じ地域でも食べる草と行動範囲が若干異なることから、草原への放牧圧が自然にコントロールされていた。しかし、干ばつが続くと、川や泉、湖などの水がかれてしまい、水場である井戸を中心に過放牧になる。同様に市場を^{いちば}中心に過放牧地が生じる。

最近40年間のモンゴル高原の気候は乾燥化の傾向にある（Batima 2005）。このような温暖化や乾燥化、大雪被害など自然環境の変化が進む一方で、ソビエト連邦崩壊に伴って1992年に社会主義モンゴル人民共和国が崩壊し、民主主義国家として生まれ変わったモンゴルは、社会主義時代の「ネクテル」（人民公社）から一気に資本主義の市場経済に移った。こうした自然環境の変化と市場経済の影響によって草原の人為的な退化・劣化と砂漠化が起きているのである。

家畜の自由な取引を手に入れたモンゴルの遊牧民は、自分で家畜の頭数と構成（五畜の割合）を調整し、市場で自由に売買できるようになったことから、家畜の頭数が著しく増加した（図6）。五畜の中ではカシミヤ・ヤギの割合が増加した。遊牧民は市場で高値取引が可能なカシミヤ・ヤギの増頭を追求した結果、ヒツジとヤギの比率に大きな変化が生じ、この20年間ヤギの頭数が倍増したことになる。

前述のようにモンゴルのヤギは南ゴビに多く放牧されているが、最近はどんどん北上の傾向にある。ヤギはヒツジと違って樹木から低木、草本までと食べる植物の種類が多く、唇を使って草を引き抜くように食べ、根までも食べてし

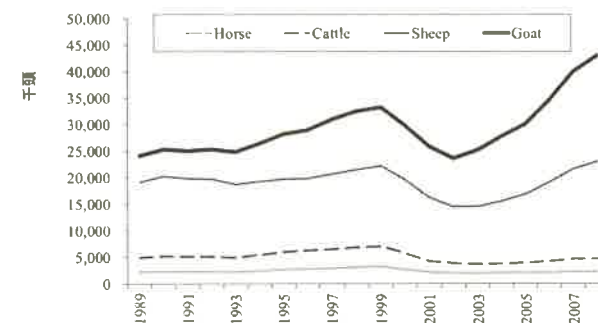


図6 1989年～2008年間のモンゴル国家の畜頭数の推移（©NSO, 2010）

まう。また、どんな地形にも上れるし、木に登って葉を食べることもできる。特に乾燥に強い落葉低木のカラガナ（ムレスズメ）は大好物である。カシミヤ・ヤギの頭数がこのまま増え続けると、草原の多様な植物種が激減する恐れがある。

ヤギは頭の良い、賢い動物である。ヤギはウシ科ヤギ属に属する。ヤギの食性は幅広いが、粗剛なイネ科の草本や硬い低木、木の枝を好んで食べる。ヤギは清潔性があり、ふん尿が入った汚い水は飲まない。

ヒツジが草食なのに対してヤギは芽食であり、草よりも低木の葉を好む。ヤギは四つの胃を持ち、反すう胃内に生息する微生物の働きによって麦わらや枯れ葉のようなものまで餌とすることができる。また、水分の排せつを抑制する機構を持つため、砂漠などの劣悪な環境でも生き延びることができる。さらに、反すう動物の多くは芳香のある植物を嫌うが、ヤギは食べる。ヤギは通常、群れをつくって生活し、縄張り性は認められていない。雄は雄同士、雌は雌同士と子で群れをつくる傾向がある。ヒツジは定住するのに対し、ヤギは長距離を移動する傾向がある。雄は後ろ足で立ち上がって頭を強くぶつけ合う頭突きによって群れの中での順位を決める。ヤギは硬い低木の枝などが大好物で、高い所に登ったり、木に登ったりしながら採餌することから、ヤギが増えると草原の退化と砂漠化を招き、過放牧の原因になるとされている。ヒツジとヤギを同

じ群れで放牧すると、ヤギはいつも先頭に立ち、群れをリードして移動する。遊牧民はよく、ヤギは風が運んでくる草のにおいを察知して移動すると言う。図7 (a, b) は衛星利用測位システム (GPS) 装置を装着したモンゴルの家畜ヤギそのヤギの半日の行動の追跡結果である。この二頭のヤギは何れも草の成長が良い所を求めて歩いていることが分かる。ヤギは本能的に最も良い草を求めて歩くのである。ヤギは平衡感覚に優れることが知られている。急斜面でも移動でき、水分の代謝速度が遅いために水分要求量が少なく、高低差の激しい地域や乾燥地など生息環境の厳しい地域でも放牧が可能ことから、モンゴルでは広い地域で放牧されている。しかし、葉や芽を食べ尽くすと根までも採食するため、過放牧すると草は再生ができなくなり、草原が退化し、砂漠化してしまう。モンゴルでは現在、ヤギの頭数と草原の許容量から草原の最適な管理方策が求められている。

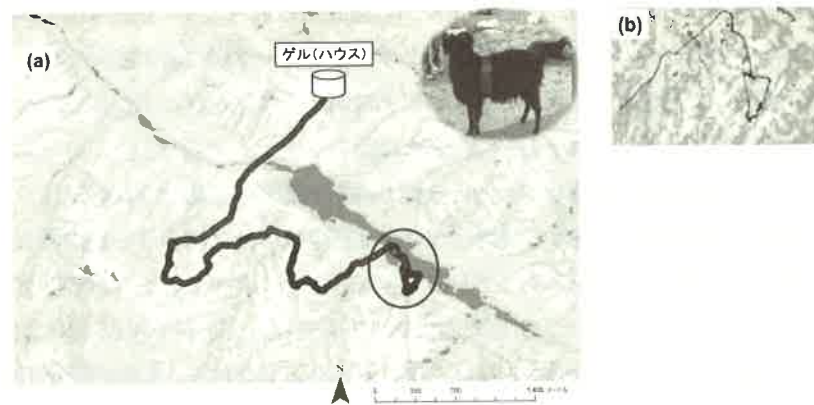


図7 (a) GPSを装着されたモンゴルの家畜ヤギとその半日の行動追跡結果；(b) 違う場所のヤギの半日の行動追跡

5. 水辺は草原退化のホットスポット

井戸・河畔・湖畔・泉辺は家畜の密度が最も大きいところである。モンゴル草原の退化はちょうどこうした井戸・河畔・湖畔・泉辺を中心に同心『円』と放射『線』の形で起きているのだ (写真1)。現状は水場に近いほど草原の退化が著しくなっている。その原因はモンゴルの水資源の分布にある。遊牧民は何故一年中家畜と家族を連れて移動するかと言うとやはり限られた水と草資源を求め、持続的に利用するために季節毎に移動している。この移動範囲も水資源の空間分布と季節分布によって限られているのだ。一箇所に長時間滞在すると水が枯渇し、汚れるし、水場を中心に家畜が踏む、食べることによって過放牧が起こり、草原の退化と砂漠化のホットスポットになっている。そのため、遊牧民はなるべく一箇所に長期間滞在せず、次の水場を目指して移動するのだ。上記の四つの河川から離れて暮らしているモンゴルの南のゴビ・砂漠地区では、水資源と草資源の空間配置が一致していないため、遊牧民は家畜に水を供給するために、草を満腹した家畜に長い道のりを走らせているケースもある。



写真1 首都ウランバートル近くの井戸周辺は家畜の過剰利用により過放牧となり、井戸に近づくほど同心円形で草原が退化している

その意味では伝統的遊牧生活は水と草資源の空間的・時間的分布が一致していないところでの限られた資源を合理的に利用する手段である。

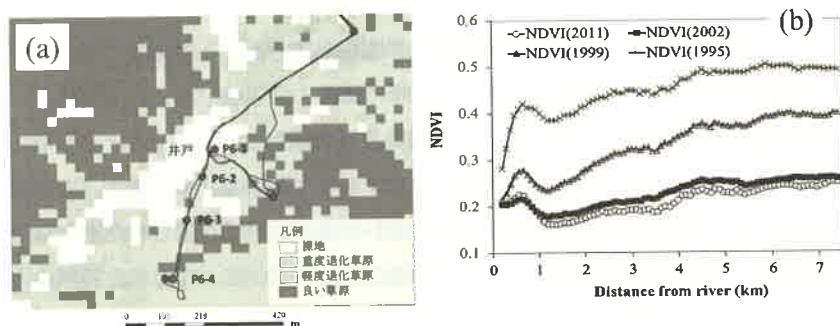


図8 (a, b) モンゴル国オルホン川 (Orkhon River) 近くの井戸における草原の退化状態 (P6-1～P6-4は四つの調査地点；(a) は草原の退化状態；(b) オルホン川から7キロ離れた地点から川に近づくほど草原が退化している様子示した衛星植生指数NDVIの経年変化)

表1 図8 (a) におけるP6-1～P6-4は四つの調査地点での植生プロット調査結果 (植物種、家畜の嗜好性、草丈、種数、地上部乾物量、及びNDVIの差値)

番号	距離 (m)	植物種類	家畜の嗜好性*				草丈 (cm)	種数 (No.)	地上部 乾物量 (g/m ²)	ΔNDVI (2009- 1999)
			ウシ	ヒツジ	ヤギ	ウマ				
P6-1 (井戸)	0	<i>Carex duriuscula</i>	D	P	P	P	14	2	20.7	-55
		<i>Potentilla bifurca</i>	U	D	D	U	4			
P6-2	100	<i>Achnatherum splendens</i>	P	D	D	P	42.5	3	39.5	-20
		<i>Elymus chinensis</i>	U	U	U	U	12			
		<i>Carex duriuscula</i>	D	P	P	P	11			
P6-3	250	<i>Stipa krylovii</i>	D	N	D	N	31	3	31.3	-7
		<i>Elymus chinensis</i>	U	U	U	U	14			
		<i>Carex duriuscula</i>	D	P	P	P	10			
P6-4	450	<i>Stipa krylovii</i>	D	N	D	N	33	5	45.1	10
		<i>Agropyron cristatum</i>	D	D	D	D	18			
		<i>Carex duriuscula</i>	D	P	P	P	7			
		<i>Potentilla bifurca</i>	U	D	D	U	15			
		<i>Allium anisopodium</i>	D	P	P	D	13.5			

注* 草原植生の嗜好性：P = 優先種、D = 嗜好性があり、家畜が好む、U = 家畜に消費されるが、好まない、N = 家畜に消費されにくい (非嗜好性)；ΔNDVIとは衛星植生指数NDVIの差値

図8 (a, b) と表1で示したフィールド調査の結果から分かるように、水場 (井戸や河川など) に近づくほど草丈が短くなり、地上乾物量が減り、種数が減少し、家畜の嗜好性のある牧草が少なくなっている。つまり、モンゴルの草原地帯では水場、水辺は草原退化のホットスポットになっている。

6. 黄砂の発生と越境する汚染物質の日本への影響

毎春、アジア内陸で発生し、海を越えて日本上空に飛来する黄砂は、今や太平洋を越えて地球の向こう側まで到達している。その被害は拡大し続けており、真の意味での地球環境問題となっている。中国とモンゴルの国境地帯に吹き荒れる黄砂が風物詩のようにいわれたのは昔の話。今や人命まで脅かす存在となり、現代人によって作り上げられた文明も、まるで黄砂に埋め尽くされてしまうかのようなのである。アジアで「黄砂」と呼ばれているこの気象現象は、アフリカでは「ダストストーム」(砂嵐)と言う。黄砂と呼ばれる理由は、昔、中国の黄土高原から吹き上げられた砂が黄色っぽかったからである。最近、現地では「^{きじんぼう}砂塵暴」と言われている。現在、黄砂の色、発生場所、そして飛来するルートに大きな変化が起こっている。

本来、黄砂はモンゴルのゴビ砂漠や中国北西～北部の砂漠地帯から中国中西部の黄土高原に至る広い地域で発生し、低気圧による上昇気流に巻き上げられ、偏西風に乗って運ばれる現象である。黄砂が発生するには、次の三つの条件が必要である。①発生地域に多量の乾燥した砂塵 (直径0.1～0.3mm) と粉塵 (直径0.25～0.0036mm) が存在する②発生地に低気圧による上昇気流が存在する③発生地の上空に強い偏西風が存在する—ことである (図9を参照)。

黄砂は近年増加傾向にある。北海道にも1999年頃から毎年のように飛来するようになった。その原因には、地球レベルと地域レベルの複雑な自然的、人為的問題が隠されている。

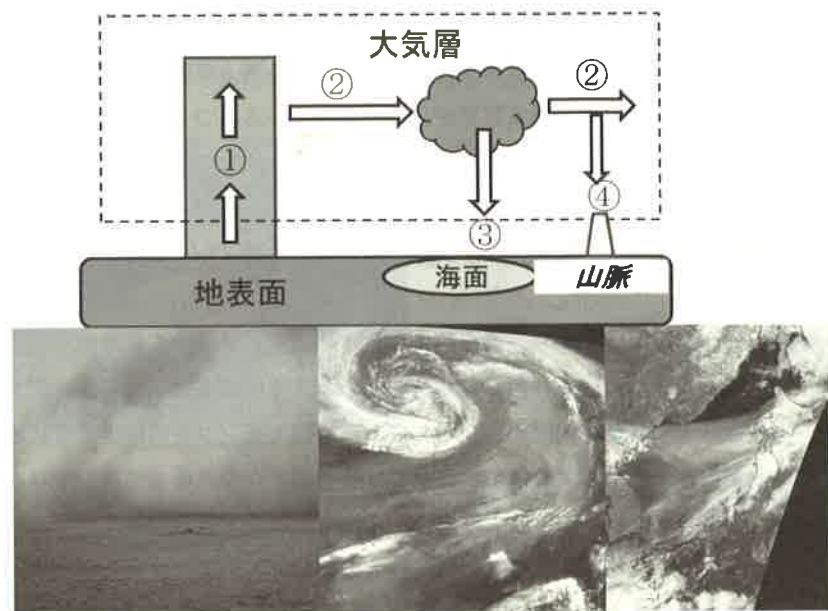


図9 黄砂発生、輸送経路と沈着モデル（但し、①低気圧に伴う上昇気流の発生；②偏西風（季節風）；③雲の形成に加わり（コアとなり）湿性沈着する；④森林や海岸の高山で乾性沈着する）

1) 多量の黄砂はどこから？

強い偏西風が吹く3～5月の間、黄砂の発生地では牧草や農作物は枯れて裸地の状態となり、気温の上昇によって表土や土壌の水分含量が非常に低い状態となる。また一冬、餌不足の状態におかれた家畜は、春になると新鮮な草を求めて草原に散らばり、草の根まで掘り出して食べてしまうため、草原に対する春の放牧圧力は高い。開墾された畑地は播種前の裸の状態にあるため、乾燥した土壌はわずかな風でも舞い上がる状態になっている。ちょうどこの時期の上空には、1年で最も強い風が吹いている。大地が十分に暖まった午後、冷たい空気が偏西風とともに流れ込むと、その温度差で強風が発生し、乾燥した砂を巻き上げる。これがアジア内陸を発生源とする黄砂の発生メカニズムである。

低気圧による上昇気流に巻き上げられた砂塵や粉塵は、高さ3,000～5,000mまで上昇し、偏西風に乗って長距離を運ばれる。Wang *et al.* (2004) によれば、内モンゴルから発生している黄砂粒子の平均直径は0.063mmであった。一方、発生地を表土における直径0.063mmの粉塵が含まれている割合は、天然砂漠地域の表土の2.56%がこのような微小粒子で構成され、その周辺地域の表土には1.94%含まれている。また乾燥地域の農耕地の表土の30.37%、乾燥が続いて砂漠化した牧草地の表土の51.86%、および旧河川流域や旧湖で表土の63.08%がこのような微小粒子で構成している。つまり黄砂は干上がった旧河川流域、湖沼の跡地、および砂漠化が進行している牧草地から発生していることが明らかとなった。

2) 国境を越え、危険性増す黄砂

渡り鳥や黄砂に国境はない。北海道美瑛市の宮島沼には毎春、越冬地の本州から繁殖地のシベリアの湿原を目指すマガンやオオハクチョウ、コハクチョウといったたくさんの渡り鳥がやって来る。宮島沼は、これらの渡り鳥の重要な中継地である。渡り鳥が毎年、モンスーンアジアの南北間を往来することにより、南国と北方圏は1つの生態系として結ばれる。同様に、アジア内陸で発生する黄砂も、太平洋を越えて北米大陸の中央部に降り注ぎ、アフロ・ユーラシア大陸と北米大陸を1つの生態系として結んだ。渡り鳥が南北間を、黄砂が東西間をつなげることで、われわれの地球は分割できない1つのシステムであることを再認識させた。

しかし、長期の気候変動と人間による水の過剰利用により、渡り鳥の中継地である湖沼・湿地が縮小した。黄砂も海洋プランクトンの餌であるミネラル栄養塩になり、また酸性を中和させる役割があるため、森を酸性雨から救った時代もあったが、今ではより危険なものに変わりつつある。

黄砂は決して最近のものではない。中国の古代文学『三国志演義』の中に、しょうかつりょうこうめい 諸葛 孔明が黄砂を利用して敵陣を攻撃したとの記述がある。その黄砂が、なぜ今大騒ぎになっているのか。それは黄砂の発生地域が拡大し、規模が大き

くなり、飛来ルートにも異変が起きて影響範囲が全地球規模になったからである。

黄砂の主な発生地である中国の国家林業局の統計によると、2009年末時点で砂漠化した中国の土地面積は約435万4,800km²におよび、砂漠化しそうな土地面積も国土総面積の約45%を占め、生態と環境にとって深刻な問題になっている。砂漠化がもたらす経済損失は、毎年約47億人民元（4兆5,120億円）に上り、中国の経済発展は環境と生態系の犠牲の上に実現しているかのような印象を受けるほどである。最近の砂漠化は経済発展が遅れている中国の北西・南西・西部地域を中心に起こっており、そこにエネルギー（燃料）のために木（まき）を切り、収入のために草原を開墾し、人口増につれて水資源を破壊するなど、中国らしい環境と政策の問題が浮かび上がっている。半世紀前に始まった中国の自然からの略奪と資源の過剰利用など人為的・政策的原因によってもたらされる黄砂は、大自然の神様が“報復”に来たのかもしれない。

黄砂は強風によって舞い上がり、偏西風に乗って長距離を運ばれる。高濃度の黄砂は上空0.5～2 kmに分布するが、日本では最大で上空6～7 kmまで舞い上げられているとの報告もある（環境省 2005）。

黄砂は移動途上で障害物に遭うと沈着する。空中の水蒸気に遭遇すると雲の核（コア）になり、雨や雪として湿性沈着するし、森林や高山に遭遇すると重量によって乾性沈着する。しかし、上空7 km以上まで舞い上がると軽く太平洋を越え、米国本土に上陸できる。

NASA（米国航空宇宙局）などの研究によると、アジア内陸を起源とする黄砂は6～7日をかけて太平洋を横断し、北米大陸に上陸していることが明らかになっている。

地球レベルで見ると、最近の地球の温暖化およびそれに伴う内陸地域の長期的乾燥化や太平洋で発生するエルニーニョなどの影響で内陸アジアでは降水量が減少し、土壤の乾燥化が進行している。地域レベルで見ると、草原の開墾、過放牧、森林の伐採、地下資源の採掘に伴う地表面の露出と表土の破壊、水源地の破壊、湿地や氷河の消失、大河上流域でのダム建設、中・下流域における

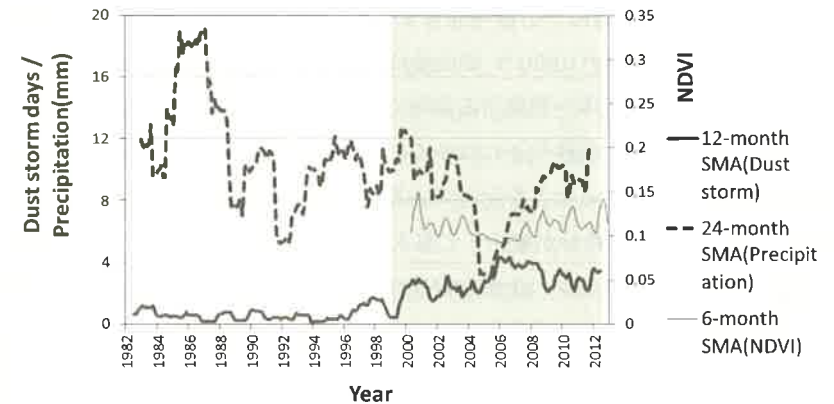


図10 黄砂発生の日数、降水量と植生被覆状況との関係（降水量が増加傾向にある時、植生の成長が良くて、黄砂日数が減少傾向にある）

工業用の取水などによる水資源の過剰利用、大河の水量の減少、地下水位の低下などが挙げられる。図10では黄砂イベント日数と降水量、植生被度との関係を示した。

図10からも分かるように、1982年から最近までの傾向を見ると、積算降水量（点線）は減少傾向にあり、それに伴い黄砂発生の日数は増加傾向を示した。積算降水量が増加時に地表面の植生は一定のタイムラグが存在するが、降水量に敏感に応答する。降水量が増加する時期に地表面植生の状態が改善し、黄砂が減少傾向に入ることがわかる。

7. 日本への影響

黄砂は移動の途上で海洋生態系、森林や農作物、健康などへの直接的な影響以外に、太陽光の散乱や吸収、雲の特性の変化などを通じて地球の気候システムへも影響を及ぼす。また、黄砂中の元素は長距離を移動する途上で化学的に変質し、その結果、環境への影響は変化する（Takahashi *et al.* 2008）。溝畑ら（1995）および Takahashi *et al.*（2008）は黄砂粒子の分析から、黄砂の成分に

は人為的な物質の二酸化ケイ素 (SiO_2^-)、ケイ酸塩 (NO_2^-) のほか、二酸化窒素 (NO_2^-)、硫酸塩 (HSO_4^-) が多量に存在することを確認した。このことは、黄砂が中国から日本へ飛来する途中で硝酸塩や硫酸塩を粒子の中に取り込んでいることを表し、黄砂粒子には多くの人為起源物質および海塩などの自然起源物質が付着していることを示している。人為起源と考えられる酸性物質の影響により、黄砂中の鉄分が変化して海水への鉄の溶解度が高まり、その結果、最終的に植物プランクトンの生育が促進され、それによって二酸化炭素が吸収される可能性があることが示唆された (Takahashi *et al.* 2008) のである。

8. 草原の修復—草原生態系のレジリアンス機能

ブラントハタネズミは、退化した草原をいち早く察知して進入する。しかし、退化した草原を走り回るブラントハタネズミの姿は、“草原を荒らしている”との誤解を与える。退化した草原にしか生息しないブラントハタネズミの生態学的習性が、ブラントハタネズミに鼠害の罪を着せてしまうのである。確かにブラントハタネズミはペストなどさまざまな伝染病の病原体になっているし、草原に穴を掘ってマウンドをつくり、露出させた土が偏西風に運ばれ、ネズミのコロニーを中心に草原の砂漠化が拡大している例も少なくない。それなのに、なぜブラントハタネズミを退化草原の回復 (レジリアンスの役割) に繋がる「エコシステムエンジニアリング」と言うのか。実は、われわれを含め、生態学者もブラントハタネズミを「良い」と簡単に結論づけてはいない。乾燥化が進んで草原がやせ果てて退化しなかったら、また過放牧で砂漠化が進行しなかったら、モンゴル高原の草原にブラントハタネズミはいなかったと思われるからである。

モンゴル草原の退化は水場、越冬地や道路の近いところから始まる。これらの場所は草原退化のホットスポットである。中度過放牧草原にブラントハタネズミが最初に登場する。中度過放牧草原の植物群落にはまだキク科のアルテミシア・ヨモギ、キジムシロ・アカウリス、チョウセンノガリヤス、アルタイ・

ヘテロパップス、アカザ・オカヒジキなどが残っている。ブラントハタネズミは誰も食べないヨモギ類、アカザ類を餌としている。家畜はヨモギやアカザが大嫌いなので去り、その後、8月下旬～9月上旬にブラントハタネズミは繁殖と越冬のための餌としてヨモギとアカザを巣の中へ運んで貯蔵する。その前に巣の中を大掃除する。その時、巣の中の栄養たっぷりの土が外に運び出されるのである。冬眠しないブラントハタネズミではあるが、秋はとても忙しい季節なのである。調査では一つの巣 (地下で複数の巣がつながって1家族を形成) に7.5～10kgの「乾物」が見つかった。内モンゴルでは7.5kgの小麦が巣の中から見つかった。ブラントハタネズミの活動範囲は、巣の入り口を中心に半径100m以内である。しかし、1975年の大干ばつのとき、内モンゴルのシリンゴル草原では標識を付けたブラントハタネズミが20km離れた所で見つかったという記録が残っている (劉 1979)。

ブラントハタネズミの個体数の増減は4～5年のサイクルがあることが証明されている。例えば、シリンゴル草原では1964, 69, 75, 85, 89年に大発生している。また、記録的な降雨による冠水で全滅することもあり得るし、干ばつが襲った年は餌が足りなくなって越冬できないことも分かっている。逆に適量の降雨があった年、あるいは比較的雨が多い年には大繁殖が確認されている。

図11ではブラントハタネズミが退化草原に進入し、遊牧民がその場所を離れ、退化草原ではネズミの生息地 (マウンド) を中心に「緑」が増えて、休耕地では植物の多様性が増して、数年間で草原が元の草原に戻っている「サイクル」を仮説として立てている。この仮説を検証するためにわれわれは10数年様々なフィールドでデータ収集と実験を繰り返してきた。最終的にモンゴルの典型草原ステップではこうしたサイクルが存在していることが証明された (Sawamukai *et al.* 2012)。極端な気候変動 (極端な干ばつ、極端な大雨) が続くとハタネズミはある場所から姿を消されるが、通常は10～15年の周期で中度退化した草原が元に戻る事が証明された。

人間は毒薬でブラントハタネズミを駆除しているが、自然の循環の中でも全滅する場合がよくある。写真は大干ばつで草がなくなり、ブラントハタネズミ

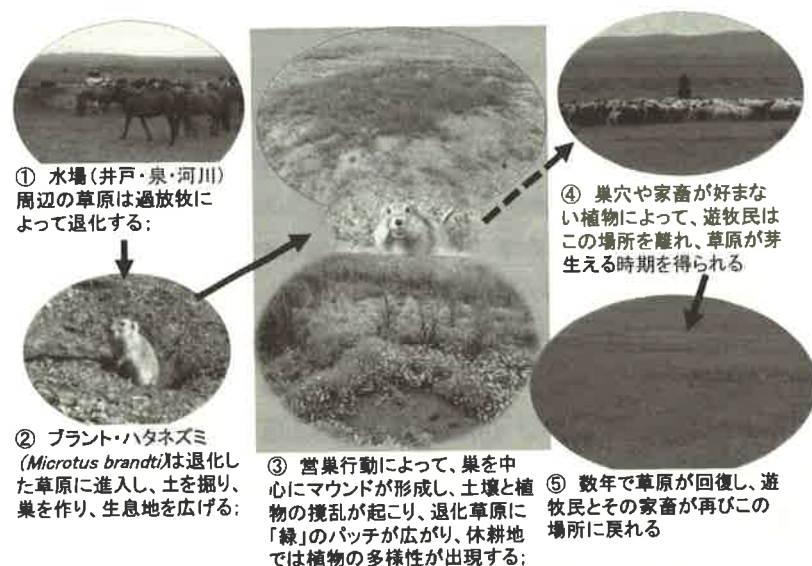


図11 ブラント・ハタネズミ (*Microtus brandti*) の生態系エンジニアリングの働き (ecosystem resilience)

が死に絶えたモンゴル東部の土地である。

謝辞

本研究のフィールド調査は科学研究費補助金・基盤研究 (S) (研究課題番号: 21221011, 代表: 嶋田義仁 (名古屋大教授)); 科学研究費補助金・基盤研究 (B) (研究課題番号: 26300013, 代表: 今村薫・名古屋学院大教授), 及び科学研究費補助金・基盤研究 (B) (研究課題番号: 24340111, 代表: 甲斐憲次・名古屋大教授) の助成で行った。研究を進めるにあたって、モンゴル国と内モンゴルの現地の多くの方からご助力をいただきました。また野外調査、家畜追跡などにあたって、酪農学園大学環境リモートセンシング研究室所属学生の皆様からご尽力をいただきました。心から感謝申し上げます。

【引用文献】

- Batima P., L. Natsagdorj, P. Gombluudev, and B. Erdenetsetseg. 2005. "Observed Climate Change in Mongolia," (AIACC Working Papers, website at: www.aiaccproject.org)
- D'Arrigo, G. J., D. Frank, N. Pederson, E. Cook, B. Buckley, B. Nachin, R. Mijiddorj, and C. Dugarjav. 2001. "1738 years of Mongolian temperature variability inferred from a tree-ring width chronology of Siberian pine," *Geo. phys. Res. Letters*. 28(3) : pp. 543-546.
- 星野仏方. 2009. 「生態移民」『砂漠の事典』丸善出版.
- International Forest Fire News (IFFN). 2007. "Forest and Steppe fire Monitoring in Mongolia using Satellite Remote sensing," 21, pp. 71-74.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. IPCC. pp. 26-70.
- 津久浦朱美, 星野仏方, 杉本敦子. 2010. 「モンゴル国における森林限界の分布とその変動要因の推定」『酪農学園大学紀要』第35巻第1号, pp. 55-65.
- Jacoby, G., N. Pederson and R. D. D'Arrigo. 2003. "Temperature and precipitation in Mongolia based on dendroclimatic investigations," *Chinese Science Bulletin* Vol. 48 No.14, pp. 1474-1479.
- 環境省. 2005. 『黄砂問題検討会報告書』.
- 小長谷有紀, シンジルト, 中尾正義編. 2005. 『中国の環境政策 生態移民—緑の大地, 内モンゴルの砂漠化を防げるのか?』昭和堂.
- 溝畑朗, 伊藤憲男. 1995. 「黄砂粒子の化学成分の変質」『エアロゾル研究』10(2), pp. 127-134.
- 劉書潤. 1979. 「内モンゴルシリンドル盟地区ブラント・ハタネズミと草原植生の相互関係に関する研究」『中国草地』1(2), pp. 26-31. (中国語)
- Sawamukai M., B. Hoshino, S. Ganzorig, T. Purevsuren, M. Asakawa, and K. Kawashima. 2012. "Preliminary results on surface and soil characteristics of Brandt's vole (*Microtus brandti*) habitat in Central Mongolia using satellite data," *Journal of Arid Land Studies*, 22(1), pp. 295-298.
- 嶋田義仁. 2005. 「乾燥地域における人間生活の基本構造」『地球環境』10(1), pp. 3-16.
- Takahashi, Y., T. Miyoshi, S. Yabuki, Y. Inada, and H. Shimizu. 2008. "Observation of transformation of calcite to gypsum in mineral aerosols by Ca K-edge X-ray absorption near-edge structure (XANES)," *Atmospheric Environment*, 42(26), pp. 6535-6541.
- Wang, X., Z. Dong, J. Zhang, and L. Liu. 2004. "Modern dust storms in China: an overview," *Journal of Arid Environments*, 58(4), pp. 559-574.
- 安成哲三. 2007. 「GAME (アジアモンスーンエネルギー・水循環研究観測計画) —アジ

ア発のWCRP国際共同研究プロジェクト」『日本気象学会創立125周年特別号, 第2部気象研究ノート』215, pp. 159-168.

Summary

Ecosystems in the Mongolian Plateau are becoming increasingly sensitive to human intervention, leading to deterioration of already fragile ecosystems. Grassland ecosystems supply almost all of the forage needed for livestock production in the Mongolian Plateau, and support the livelihood of the region's herders and their primarily nomadic way of life. However, the grassland ecosystems are distributed over a vast region that ranges between forest and desert ecosystems, and negligent human activities have caused serious environmental consequences for human society. Grassland of Inner Mongolia has been degenerated by drought and overgrazing. Degradation and desertification of pasture region of Inner Mongolia has become a new source of Asian dust storm outbreaks. In this study, we investigated and analyzed the effects of settled grazing in Inner Mongolia and traditional nomadic grazing in Mongolia on grazing behavior of livestock using GPS satellite tracking and time series satellite imagery's analysis. The result indicated a higher grazing velocity and longer moving distance of livestock in fenced grazing of Inner Mongolia than that in traditional nomadic grazing of Mongolia. However, the grazing area of the livestock in Inner Mongolia was smaller than that in Mongolia, because the behavior of livestock in Inner Mongolia has been limited to the inside of fenced area. Therefore livestock have to spend more time grazing, increasing their step rate and moving longer distances. This may be a result of limited area due to the presence of fences in Inner Mongolia. In field study, we also calculated vegetation volume of each plant species. These results indicate that fencing associated with the settlement system of Inner Mongolia has created a new hot spot of land degradation and a new source of Asian dust storm outbreaks. The degraded grassland is habitat of the Brandt's vole (*Microtus brandti*). Does the Brandt's vole make damage to the environment or does it provide management? Therefore we analyzed vegetation cover, soil temperature and soil hardness measurements at the Brandt's vole colony to examine changes of land surface characteristics caused by the activity of Brandt's voles. As a conclusion, we suppose that Brandt's voles might indicate the degradation of pasture and play important role in ecosystem recovery.

Keywords : traditional nomadic grazing and settled grazing; pasture land; desertification; dust storm outbreaks; satellite imagery

(2014年10月21日受付)

(2015年4月15日受理)