

人間活動による生態系の劣化

ーモンゴル草原とサラワク熱帯林の比較ー

総合地球環境学研究所教授

山村 則男

今ご紹介に預かりました山村です。来年4月から同志社大学に来ることになりましたのでよろしくお願いたします。私は、生態系の問題、それから動物や植物の生活や行動の問題を数学的モデルで解析して、こんなふうに説明するとうまく説明できるのではないかというようなことをやってきました。

5年前に、京大生態学研究中心から総合地球環境学研究所に移り、それまで生態学研究中心が研究フィールドとしてきたモンゴル草原とマレーシアの熱帯林をフィールドにして、新しいプロジェクトを行うことになりました。この研究所は、文理融合を目指していて、自然科学系の人たちばかりではなくて文系の研究者も共同でプロジェクト研究を行っています。私は文科系の研究分野は全然分からないのですが、このプロジェクトのメンバーにも文科系の人にもたくさん入っていただきまして、勉強しながらやっています。このプロジェクトをやり始めてから、いろいろな人から、なぜモンゴルとマレーシアという、全然違うところの調査地を一緒にやるのかとよく尋ねられます。

図1の左はモンゴル草原です。ちょっと白っぽく映っていますが、草が生えています。そこにヤギとヒツジの群れがいますが、群れ全体で百数十頭はいたかと思います。遊牧民がこのような群れを連れて毎日草を食べさせに出かけて、ゲルというテント型の家に夕方また帰ってきます。ヤギとヒツジを混ぜて遊牧をするとうまくいくそうです。先頭にいる黒いのがヤギですが、人が指示しなくてもヤギが主導権を持っていて、そのあたりで食べ終わったと思ったら動き出すのですけれども、そうすると白いヒツジがついていきます。

図1の右はマレーシアの熱帯林です。これは、一斉開花という現象です。一斉開花というと、花が咲き乱れているという印象を受けますが、木の上に白いものとか、ちょっと黄色いものとか、ちょっと赤っぽい花とかいうのが咲いているだけです。熱帯林では、ある年に一斉に花が咲いて一斉に種をつけるが、その後10年ぐらい花とか実がまったくないという状態が続きます。そのような一斉開花現象がなぜ進化したかということが議論されているのですけれども、これにはいろいろ



図1 モンゴル草原(左)とマレーシア熱帯林(右)

な仮説があり、それを生態学研究センターの人たちが研究していたわけです。

地球研では、このような草原や森林での環境問題として、人間活動がどのようにその生態系を劣化させているか、それを解決するにはどのような方法があるのかということを考えています。今日は、「人間活動下の生態系の崩壊と再生」というテーマの地球研プロジェクトを紹介し、私自身は理論の研究をやっていますので、理論的トピックについてもお話ししたいと思います。

たとえば、土地利用の数理モデルですが、モンゴルの草原の土地は誰の土地とも決まっています。誰が使ってもよろしいということです。人々は草が少なくなったら移動するのですが、移動するときに、ほかの人がいる近くには行かないのです。そのような暗黙の了解があって、全体で利用します。しかし、遊牧というのは遅れた産業形態だというようなことを言う人がいて、モンゴルももっと近代化しなければならない、土地は資産にすべきだということで、土地を私有化しようという話が国会で議論されています。我々の研究グループは、そういうことをすると非常に困ったことが起きますよということを数理モデルの予測によって提言しようとしています。

プロジェクトは問題をどのようなスキームでとらえるかということですが、マレーシア熱帯林の例で説明します。調査地には、原生林や焼き畑があります。それから原生林を択伐して木を切り出すと、次に生えてくるのは二次林でちょっと貧相なものになります。最近、アブラヤシのプランテーションが急速に増加していますが、熱帯

林をどんどん切ってアブラヤシを植えます。アブラヤシから油を取って、食料品とか化粧品とか薬とかのもろもろの製品に使われ、バイオ燃料としても期待されています。非常にお金になるので広がっているのです。

このような土地利用で区分されるサブシステムがあって、それに人間のシステムが関与します。住民とか、企業、政府、NGOなど人間社会のネットワークがあって、そのネットワークがこのサブシステムの性質や、それらの転移に影響を与えているというスキームで捉え、全体を生態系ネットワークと呼んでいます。

自然環境の劣化という環境問題ですが、人間社会による直接のインパクトをいろいろ調べた研究はあるのですが、過剰利用とか乱獲、自然破壊というような直接的な影響を表面的にとらえて統計処理するといったものが多くて、その中身のダイナミクスはどうなっているかという研究はあまりありません。我々はこの生態系の中身も考えて、人間社会と生態系の相互作用、生態系の中身がどのように変化しているかということを十分に考えて、フィードバックとか連鎖効果とか空間の効果などを取り込んで、生態学を十分に利用しながら生態系劣化という環境問題を扱っていきたいということです。

調査地はモンゴルとマレーシアサラワクです(図2)。モンゴルでは、降水量を反映して、北から南に向かって植生が連続的に変わっています。北はシベリアのタイガですが、森林が少なくなってきて、草原になって、ゴビ砂漠に繋がっています。降水量の異なる、森林と草原の混じる森林ス

調査地

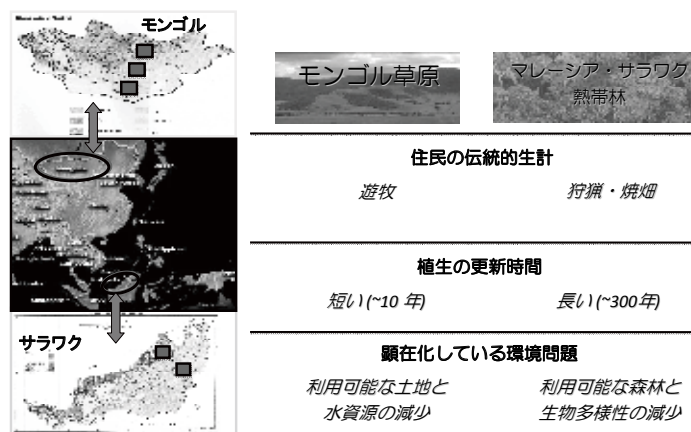


図2 調査地の比較

テップ、ステップ、乾燥ステップの3地点を重点調査地域として調査しております。サラワクのほうは、海岸地帯は、石油が採掘されている、町がある、あるいは、プランテーションの農園があり、非常に開けた地域です。奥地のほうはなかなか入りにくいところがあって、先住民が昔ながらの狩猟採集や焼き畑生活をしているような地域です。この二つの地域に重点調査地を設けています。

住民の生計は、モンゴル草原では遊牧で成り立っているのですが、サラワクの熱帯林に住む人がいて、これは狩猟採集民として動物を捕まえる、あるいは木を切って焼き畑をやっています。このように人間の生活も違うのですが、植生の更新時間が大きく異なります。草が裸地化しても、10年ぐらい経つと元通りの草地になりますが、熱帯林は一回皆伐してしまうと、300年ぐらい経たないと元のようになりません。生態系のシステムとしても非常に違うものを比較しようとしています。

今顕在化している環境問題ですが、モンゴルでは、最近の放牧では経済的利益を優先し、家畜を増やすことによって過放牧となり草が荒れてきています。荒れて使えなくなっている草が増えてくるので、利用可能な土地が減少しています。水資源も同じ理由で減ってきています。サラワクのほうは、住民にとって利用可能な森林がどんどん減らされてきているわけですが、それが問題です。地球環境問題として問題になっているのは、炭酸ガスの問題です。熱帯林を切って木を使うということは、最終的には木を燃やすことになるので、炭酸ガスが出てきます。だから熱帯林をそのまま保全することが炭酸ガスを増やさない一つの方法になるわけで、炭酸ガス排出の抑制となります。生物多様性について

例えば、熱帯林にある遺伝資源というのは、将来薬になるような化学物質が熱帯林の中に埋もれているとも言われていますし、そうでなくてもいろいろな生物が豊富に存在します。そのような多様性を維持することが重要ですが、森林を切ることによって生物多様性が減少しているということです。

図3が、モンゴルとサラワクの生態系ネットワークの実態です。モンゴルの場合、放牧適地草原というのがあって、それを使いすぎると劣化します。モンゴルでも一部農業がおこなわれていて、草原が農地になっています。モンゴルには、石炭、金、銀、銅、タングステン、レアメタルなどの鉱物資源が豊富で、外国の企業が開発を進めています。その結果、草原が減るし、草原に悪い影響を与えているということが起きています。一部のモンゴルの政治家は、古い遊牧なんかはやめてしまって、鉱山だけで十分やっていけると言う人もいるのですが、それは乱暴な話で、我々はやはりモンゴルの基本的な産業は遊牧、畜産だとしてとらえています。放牧適地草原の中に、森林と灌木と書いていますが、森林や灌木は草原の維持に取って非常に重要なので、これらの相互作用も研究しています。図には、主な研究者の名前と何を研究しているかということを書き入れてあります。土地法とか、遊牧民の生活実態を調査研究しているなど、様々な分野の研究者にプロジェクトに入っていて、全体像を明らかにしようとしています。

図3の右が、サラワク熱帯林の生態系ネットワークですが、サブシステムとして、原生林と択伐林があります。企業が木材伐採を行い、先住民が焼き畑などを作って利用しています。プランテーション、これが大きな問題になっている

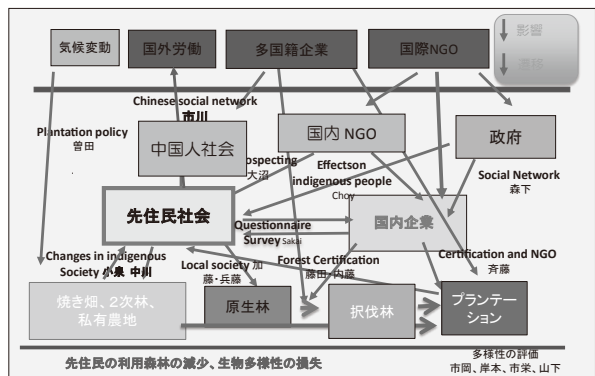
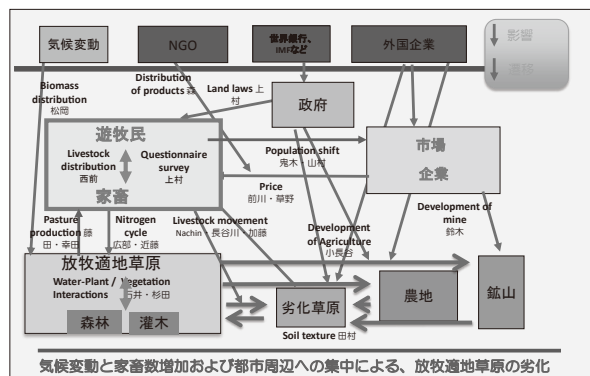


図3 モンゴル（左）とサラワク（右）の生態系ネットワーク

わけですけれども、択伐林を皆伐して作っています。このネットワーク上の各部分で何が起きているかということ、様々な分野の研究者たちが詳しく調べているわけです。

このプロジェクトももうすでに4年の半ばを過ぎ、あと1年半たらずの期限を残すのみとなったのですけれども、以下のようにまとめたいと考えています。まず、モンゴルとサラワクでの環境問題を特定し、その環境問題を引き起こしている生態系ネットワークの構造を仮説として書き出し(図3)、ネットワークの各リンクの実態を検証します。さらに、それを解決するもしくは緩和する方法を将来シナリオとして検討します。つまり、どのような社会に向かうのかというシナリオをいくつか考え、シナリオごとに予測結果を評価して、当事者に、そのうちのどのシナリオを取るのかの判断材料にしてもらいます。最後に、二つの地域の違いと共通点を保全理論としてまとめ、自然生態系が劣化しているような世界中の地域に応用できるようにします。世界には、森林がどんどん切られているところ、乾燥地の草原がどんどん劣化しているところが多くあります。以下、環境問題の把握、ネットワークの検証、シナリオ分析、保全理論の順に詳しく説明します。

モンゴルの環境問題の把握ということでは、家畜の増加が大きな問題です。モンゴルでは、ヒツジとヤギのほかに、ウシとウマを飼っています。それからラクダも南の方に集中していますが、飼っています。これらをモンゴルの五畜と言います。ヤクも飼っているのですけれども、ウシのなかに入っています。1930年頃から1990年頃までは家畜の数はほぼ一定で、ヒツジはおおよそ1500万頭ですが、モンゴルの国の人口は150万ぐらいですから、ヒツジの数だけで人間の10倍います。ほかの家畜を合わせると、人間の30倍ぐらいの家畜がいるわけです。

ソ連が社会主義革命を成し遂げて、すぐあとにモンゴルもソ連の影響で社会主義の国になりました。それが1920年ごろです。それから、遊牧も国家の計画によって進められて、安定的に家畜が生産されたのです。ところが、1992年ごろから市場経済が導入されます。共産主義とか社会主義はあまり効率がよくないということになって、東ヨーロッパでは次々と社会主義政権が倒れて民主化が起きましたけれども、それに呼応してモンゴルでも民主化が起きました。戦乱に至ること

なしに、市場経済に移りました。そうすると、今まで国から給料をもらっていた遊牧民が、自由経営者になるわけです。そうすると儲けなければいけないということで、家畜の数を増やします。特にヤギを増やしました。ヤギは、ご存じのようにカシミヤという繊維が取れ、そのカシミヤを使ったセーターとかマフラーとかが非常に高く売れるので、ヤギを飼ってカシミヤを生産するともうかるということです。最近、ヒツジも増えてきているのですけれども、家畜が増えることによって、家畜を飼える環境容量以上に遊牧民が家畜を飼うということで、草原の劣化が進んでいるというわけです。

モンゴルでは県の下郡に相当する行政区はソムと呼ばれ、社会主義国でしたから、家畜頭数の資料がきちっとあり、統計分析するのは比較的容易です。ヤギの分布密度を分析すると、1993年ごろには本来のヤギの生息地である山岳地方に偏っていました。平地の草地にはあまりいなかったのです。ところが、民主化以後、平地部にヤギがどんどん増えてきているわけです。特に主要道路の近辺にたくさん飼われるようになります。昔は全然いなかったウランバートルの近郊でも増えています。道路近辺と都会近郊にヤギが増えてきた事は、経済的な理由で増えてきたことを示唆しているわけです。

もともといた地域の人がたくさん家畜を飼うだけでなく、地方にいる人がウランバートル近郊に移住してきます。人口移動が起こることにより、最近の人口増加はウランバートルだけであり、それ以外の県の人口は一定のままとなっています。つまり田舎の人に子どもができれば、一人二人を遊牧民として残すのですけれども、そのほかの子どもはみんな都会に行きます。ウランバートルには大学がたくさんあって大学生の増加を含めて人口がどんどん増えています。都会の周りに遊牧民が移動してくる理由は、家畜が高く売れる、あるいは、子どもが都会に住んでいるので、週末に子どもが帰ってこられるところに住むなどです。社会調査をした人のデータによると、ウブス県マルチンソムから2008年に228人移動してきています。アンケート調査で調べたウランバートル近郊への移住の理由は、たいへん寒くて乾燥した西部地域よりも草地の条件がよいことと、家畜生産物の売却価格が高いために所得が高くなるということです。ここにもともと住んでいた人が家畜を増

やすことと、地方に住んでいた人が家畜を連れてやってくることで、ウランバートル近郊は過放牧状態になり、草地が劣化してきています。

乾燥度が中ぐらいのところの草原では、草のほかもメ科の灌木が生えています。イネ科の草あるいはネギ科の草は根が浅いのですが、灌木の根はかなり深くて1メートル以上になっています。灌木は草原にとってどのような働きをしているかを調べるために、気象観測装置を設けていろいろな自動観測をしています。降雨量のデータによると、雨は年に何回か固まってぱっぱと降って、ほかは全然降らないのです。雨がかたまっ降った後だけに草が生えてきます。地中に水分自動観測装置を設置してありますので、地下をどんなふうに水分が移動していくか分かります。雨が降ったあと、だんだんと染み込んでいくわけです。地表面近くに水分が多いのですが、深さ30センチぐらいのところでは水分が少なくなっています。灌木がこの深さの水を吸っている事が分かります。草本は浅い層から急速に吸収するので、大量降雨後にしか成長できないが、灌木は深い層からゆっくり吸収するので降水と関係なく葉を広げる事ができます。つまり、雨が少なくても、たまった水を使って成長できるので、草よりも灌木のほうが家畜にとっては安定した食料となります。

モンゴルの環境問題としてもう一つ問題になっているのは黄砂です。日本にもよく黄砂がやってきて、洗濯ものなどについたりして困っているのですけれども、黄砂の量は土地の劣化によって増えると言われていました。土地の劣化によって灌木が少なくなる、あるいは草原のバイオマスが少なくなってくると、砂が地面に露出して、風が吹くとビューと飛ぶわけですね。地表面をきちっと植生が覆っていると砂が飛ばないので、草地の保全は、環境問題として重要なになっているわけです。

ヒツジとヤギの比較ですが、遊牧民は、ヒツジよりもヤギのほうが環境にとって悪いけれどもヤギはお金になるから飼いたいと言っています。ヤギとヒツジを飼ってみて、草原に対してどれだけ差があるのか調べるために、1週間ぐらい囲いの中に腹ペコのヤギとヒツジをそれぞれ入れて食べさせます。そうしますと最初のうちは、ヒツジは草を食べますが灌木は残っています。ヤギのほうはどうかという、草は比較的食べられずに残っていますが、灌木は丸裸になっています。つまりヤギは、草よりも灌木の葉のほうが好きです。も

ともとそういう食性なのです。ヤギは灌木がなくなると草も食べ、ヒツジも草がなくなると灌木も食べて、結局、草原は丸裸になります。しかし、少なくともはじめのうちは、ヤギが灌木を食べることによって土地の安定性を低めています。ヒツジは草本を好み、ヤギは灌木を好むので、ヤギの増加は灌木の減少を介して草原の劣化を促進する可能性があります。

遊牧の方法の実際を調べるために、ヒツジにGPSを取り付けて、年間の移動を記録し、グーグルの地図上に落としました。夏には開けた草原で草を食べていますが、冬になると山陰の冬営地に行き、春になるとまた開けた草原に出てくることを繰り返しているわけです。どのぐらい動くかということですが、1年間で大体50キロメートル四方の範囲ぐらいを動きます。遊牧民はゲルというテント小屋に住んでいます。毎日ヒツジ、ヤギがゲルと草地を往復して草を食べに行きますが、大体4、5キロの範囲内で、家畜は1日8キロぐらい歩いています。夏と冬、季節ごとにいろいろな統計分析をしているのですけれども、例えば、暖かい季節のほうがよく動くということが分かります。あるいは、夏場は水場がないと困るのだけれども、冬場は雪を食べることによって水は調達できるので、水場がない山陰でも困らないのです。

次にマレーシアサラワク州の環境問題です。アブラヤシのプランテーションの拡大によって、住民の生活に変化が起きています。ココナツヤシと違って、アブラヤシというのは小さい実が房状になります。この房をごそっと切って、工場に運び、実だけ落として油をしぼり出します。熱帯の原生林は植物種の多様性が非常に高いのですけれども、アブラヤシの畑は多様性が最も低い林だということが言えるかと思います。オイルパームプランテーションの計画ですけれども、2005年までに作ると計画された面積を、2010年にははるかに超えて、全サラワクの10パーセントにもなっています。森林を伐採した後、森林を再生するために成長の早いアカシアなどの樹木を植えます。アカシア林の計画面積も大きかったのですが、それほどお金にならないということで実際にはあまり進んでいません。インドネシアとマレーシアのパームオイル生産量は、1960年代から2008年にかけてすごい勢いで増えていっています。どんどん森林を切ってオイルパームを植えているという

ことです。熱帯林を切って木材を運び出すために道路を建設しましたが、そのあとにこの道路を利用してプランテーションを作るようになります。このアブラヤシの実は、工場まで24時間以内に運び込まないと処理ができなくなるので道路が重要になってきます。道路沿いにプランテーションの工場があるのはそのためです。道路は、最初は沿岸部に建設されましたが、2004年ぐらいになりますとマレーシアとインドネシアの国境までどんどん伸びて行って、ほとんどサラワク州全部が道路で埋め尽くされているというような状態になっています。それは木材を切り出す道路であり、かつプランテーションの実を運ぶ道路です。

プランテーションの拡大とともに先住民の生活はどのように変化したかということ、文化人類学の研究者が調べています。狩猟採集民のシハン族の村では、木材伐採により森は減りましたが、ある程度はありますので、そこで昔ながらの生活ができたのですけれども、2000年ぐらいになりますと、プランテーションが開発された道路際のほうが便利だということで村が移っていきます。シハン族の森林利用の調査によると、木材伐採下の狩猟ではいろいろな動物をとっているけれども、プランテーションに移りますと、ほとんどイノシシだけしか取れません。落下したアブラヤシの実とか収穫した残りを食ってイノシシはずいぶん増えています。昔は多様性がある森林利用をしていたのですけれども、プランテーション化して多様性の低い生活に変わったということです。

土地利用によって植物の多様性がどう変わるかということ、ランビルヒルズ国立公園の原生林とその近くの二次林でも調べています。原生林と、二次林の中の焼き畑が終わってから5年から10年ぐらいの若い休閑林と、20年から35年という古い休閑林での生物の多様性はどのように違うかを調査しているのです。キノコ類、樹木、シロアリなどすべての動植物で、おおむね若い二次林、古い二次林、原生林の順で多様性が増していました。

先住民の生活がどう変わったかを調べるために、2008年から2010年にかけて、サラワクのラジャン川（サラワクで最長の川）近辺の村でアンケート調査をやっています。その流域を中心に100村が対象ですが、各村の村長と、15から20世帯にアンケート調査をしています。家族の構成とか、何を持っているか、収入はどれだけあるか、

稲作、狩猟をやっているか、野生植物はどんな頻度でとるかなどです。昔と現在を比較して、人口がどう変わったかも聞いています。出稼ぎがけっこうあるのですが、沿岸部に石油が出ますから、石油コンビナートで働く、あるいはここを基地にして世界中の油田に出稼ぎに行くという人がかなりの人数になります。森林がある程度残っていて、森林利用が頻繁なところは、村でも人口は増えています。そういう村では、プランテーション創設に反対しています。逆に、森林が少なくなっているところが人口は減ってきています。そういうところは、いっそプランテーションにしてくれということで、プランテーションに賛成となります。こういう森林の減少と、住民の森林利用の減少というのは、正のフィードバックのために、悪いところはどんどん悪くなってきますけれども、いいところはどんどんよくなっていくというような、二極分化が起こってきます。

プロジェクトでは、様々な研究が行われているのですけれども、まとめに際して、モンゴルとサラワクの比較をしなければなりません。環境問題がどのように起こっているかというのを、社会系自然系の複合ネットワークのなかで示したいのです。モンゴルでは、先ほど言いましたようにグローバル経済の影響で家畜をたくさん飼うようになっています。特にヤギを飼ったほうがもうかるということで、住民が家畜を増やす、ヤギを増やすことになります。そうすると過放牧のために生態系が劣化します。しかし、生態系が劣化すると、そのマイナスは住民に跳ね返ってきます。少し長期的にものごとを考える賢い住民は、フィードバックを考えて、草原の利用を抑制するという負のフィードバックがかかるはずですが、サラワクでは、住民がその生態系を利用しているのですけれども、生態系を劣化させるほどの大きなインパクトはありません。森林の大きな木は材木として非常に価値が高いし、森林を切ったあとにアブラヤシを植えると非常にもうかります。その結果、企業や国家が森林をどんどん切って生態系を破壊し、その結果、住民がその森林を利用できなくなります。このように、同じ自然生態系の劣化という環境問題ですが、モンゴルとサラワクのネットワークは異なるのです。

資源の価値ですけれども、モンゴルでは家畜に価値があります。草には直接価値はなく、草のように薄く散らばった資源を利用することは、企業

が直接やると効率が悪いので、遊牧民がそれを家畜に草を食わせてできる産物を買います。森林は集中し安定した資源なので、企業が森林を直接開発します。グローバル経済の影響は、モンゴルでは住民の行動を通じて起こりますし、サラワクでは企業の行動を通じて起こります。そのため、解決シナリオというのは、モンゴルでは住民行動の変化を促すことがなければいけないし、サラワクでは企業の行動を規制する方策をとるべきだろうということです。

モンゴルとサラワクのいくつかの将来シナリオを考えています。モンゴルは、先ほど言いましたように、共有地を私有化しようという動きがあり、私有化すると遊牧の範囲が狭くなります。降水量の変動が大きいので、草が生えない土地を与えられた人は非常に困るわけです。だからそういう移動性の問題が一つあります。もう一つは、環境に配慮して家畜数を制限するか、あるいは経済に任せて家畜の制限値は経済原理に任せるかということです。移動性と頭数制限の組み合わせで複数のシナリオが考えられます。実際に試験的に行なわれているのですが、住民が無計画に草原移動するのではなくて、牧民グループをつくってグループの管理とし、計画的な草原利用をやらせるというシナリオも検討します。サラワクのほうは現状維持に加え、環境に配慮して原生林をもう少し増やすシナリオ、都市化、工業化というのを主体にして、田舎のほうは産業をあまり考えないシナリオ、住民の生活を重視して焼き畑など伝統的な生活も成り立つようにするシナリオを考えています。

このようなシナリオのもとで、30年後に土地の状態はどうなっているか、土地利用はどうなっているかというのを推定して、それに対して国家の経済状態はどうなるか、住民の一家族あたりの収入はどうなるか、生物多様性はどうか、伝統文化の継承というようなことをそれぞれに評価しようとしています。ここまで、プロジェクト全体でやっていることの概要を説明してきました。

ここは文化情報学部なので、ちょっと理論的な話があったほうがいいと思いますので、自分がやっている理論的な話を少し話します。モンゴルの遊牧というのは、土地は共有であるというのが基本ですが、それは遅れた資産制度とされ、「共有地の悲劇」を起こすともいわれます。つまり共有だと誰のものでもないから、それぞれ個人が土地を勝手に過剰に使うことになって、全体と

しては悪くなっていくので、それを避けるためにはどうしたらいいのかということです。その問題を最初に指摘したハーディン、人間の欲望にとどまりはないので、共有地の悲劇を避けるためには、トップダウンで規制を強めるか、土地を私有化するしかないと言っています。最近では、地域共同体にその管理を任せようという動きもあります。地域の伝統文化は大切にして、地域のネットワーク的な管理というのをやるのです。地域共同体による管理は、どういうところでうまくいって、どういうところでうまくいかないかという社会学の研究が、最近は活発に行われています。昨年、オストロームがノーベル経済学賞を、その研究でもらいました。

遊牧は広域移動しますが、移動するためには私有では困るので、ある程度広い範囲を共有にしなければなりません。「共有地の悲劇」という問題があるにもかかわらず、モンゴルでは伝統的に土地は共有だったわけです。それはどうしてかという、結局、降水量の変動のために草量の時空間変動が大きい、つまり年次変動も大きくて、草が生える年と生えない年があり、しかも空間的にもよく生える場所とあんまり生えない場所で大きな差があるので、移動できないと困るということです。草の豊富な場所を選んで移動することによって、家畜に十分エサを与え、体重を増やし、子を産ませることができるという利点があるし、移動することによって特定の場所の過剰利用による土地の劣化を防ぐこともできるのです。これはそのとおりなのですが、変動の大きさと適切な移動距離との関係を定量的に評価する必要があります。

そこで、数理モデルを作り、数値計算してみました。十数年にわたるモンゴルの草バイオマスの年次変動のデータによると、一番少ないときと一番多いときで10倍以上の差があります。平均的に見ても変動係数は50%くらいあります。特定の場所においては、ある年にはよくても、ある年には悪いときもあるわけです。解析的なモデルによって、家族が飼う家畜のバイオマスの変化を記述します。越冬で家畜が死んだり、やせたりします。春に子が生まれ、春から夏、秋にかけて草を食べて、バイオマスが増えます。このことを考慮して、その年の秋のバイオマスから、次の年の秋のバイオマスを与える方程式を作ることができます(図4の左)。

草の量の変動に従って家畜の増加率が違ってきます。年間増加率の長時間平均は、各年の増加率の幾何平均になるので、解析的に計算ができます。私有の場合の増加率は、一番簡単なものにして、良い年が2分の1の確率、悪い年が2分の1の確率にします。共有の場合、二つの隣り合う家族が、自分のところだけではちょっと不安定なので、共有にしましょうというので、共有にします。共有の場合と私有の場合で平均年間家畜バイオマス増加率を計算することができます。共有するとそれなりのコストがかかりますが、草量の変動がある程度少ないと私有がいいのですけれども、大きいと共有がいいということになるわけです。パラメータの値が分かると、具体的に共有と私有のどちらがいいかが評価できるのです。 n 個の家族が土地を共有にした場合にも平均家畜増加率が計算できます。やはり変動が大きいと、共有が有利となります。さらに、共有のコストを考慮すると、最適な共有サイズを計算する事ができます。(図4の右) 遊牧民のグループ化というのをモンゴルで政策として掲げられているのですけれども、このような最適サイズというものがある程度考慮したものにならないとうまくいきませんというような提言ができます。

これまでは家畜バイオマスの変化だけ考えたのですけれども、土地は過剰利用すると劣化します。この効果を、前の年のバイオマスが小さいとき、次の年は雨が降っても草はあまり生えないという式で表現しました。この式で、土地の劣化と家畜

の増減というものを、両方込みで考えることができます。この式をコンピュータでシミュレーションすれば、共有と私有のどちらが有利かということ、変動の大きさと対応させて評価できるので

す。数理モデルによる考察の結論としては、家畜量増加率の幾何平均を最大化するモデルにすると、草生産量の変動性が大きいほど土地共有制度の優位性が増し、最適共有サイズが大きくなることが分かりました。データさえあれば定量的な推定もできます。草量と家畜量の2変数の数理モデルに変更すると、土地劣化の効果が持続するのでより土地共有の利益が大きくなるということが言えました。

私たちのプロジェクトの概要と数理モデルのトピックについてお話をさせていただきましたが、これで私の話を終わらせていただきます。

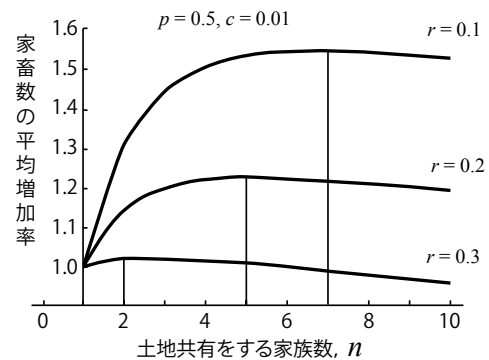
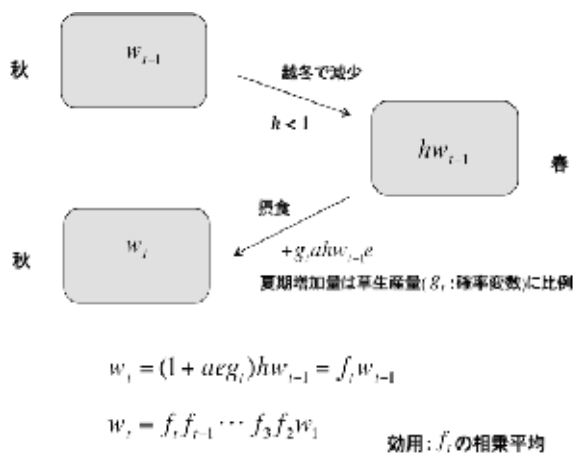


図4 家畜バイオマスの変化を表す方程式(左)とコストを考慮した場合の、最適グループサイズの存在(右)