

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2012～2015

課題番号：24405046

研究課題名(和文) モンゴルにおける持続可能な水環境保全と水利用のための遊牧システムの形成

研究課題名(英文) Construction of pasturing system for sustainable water environment in Mongolia

研究代表者

中井 裕 (Nakai, Yutaka)

東北大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：80155655

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,800,000円

研究成果の概要(和文)：モンゴルの家畜密度増加が、河川水質および魚や家畜への影響について調査した結果、下流ほど水質汚染し、2014年の井戸水から高い大腸菌数が検出された。家畜から病原性大腸菌が検出され、羊・ヤギの保菌率は高かった。Cryptosporidiumも牛や河川水から検出された。2015年に井戸の構造を改善した結果、大腸菌数は減少した。下流水を飲んだ羊で病原性大腸菌の感染率が高くなった。魚類の遺伝的多様性は地点差がなく、バイカル湖系統であった。衛星画像解析では、道路より離れるほど草地環境はよくなる傾向が見られた。持続可能な遊牧を行うためには、草地の利用法を管理することで改善の可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：The effects of water quality in the Tuul River in Mongolia on the genetic diversity of fish and animal health were investigated. The water in the Tuul River was more polluted downstream. In 2014, very high numbers of Escherichia coli were detected in well water. Pathogenic E. coli was detected in animal feces. Sheep and goats had high carriage rates. Cryptosporidium was detected in cattle feces and river water. In 2015, the numbers of E coli in well water decreased after changing the well structure. Sheep that drank water downstream had a higher rate of pathogenic E. coli infection. The genetic diversity of fish was similar to that of fish in Lake Baikal. Satellite image analysis showed that vegetation was better farther from roads. The regulation of well construction and the use of pastures may make the pasturing environment sustainable.

研究分野：環境微生物

キーワード：水環境 病原性微生物 モンゴル 遊牧 遺伝子多様性 衛星画像解析 管理

1. 研究開始当初の背景

モンゴルでは、降水量が過去50年で全体の7%減少、659 km³あったとされる氷河・万年雪は、2002年までに主な地域で30%減少し、河川・湖沼の水供給資源の減少が危ぶまれる。1989年のモンゴルの民主化政策導入は、市場経済化と自由化を促進させ、遊牧民による家畜飼養頭数が急激に増加した。これにより、草原の生産量を超える過放牧が生じ(鬼木・小長谷, 2006)、植生の貧弱化、土壌の劣化が観察されている。さらに、家畜の過密化、遊牧民の都市近郊への定住化への移行が、家畜の水飲み場となる河川周辺でのふん尿蓄積をもたらし、河川水質汚濁、河川生態系崩壊、飲料水の悪化をもたらしていると同時に、持続可能な遊牧社会の存続に危機をもたらしている。水利用の中心となる河川の水資源の健全さは、遊牧社会を含めた流域の陸圏水圏環境の生態系バランスと相互に関係するものであり、これらの相互関係に着目しながら、総合的な視点で、河川流域環境を調査する必要がある。

その中で、河川などの水飲み場において、家畜排泄物の蓄積による水環境汚染を観察することができ、大きな問題であることを認識してきた。しかし、人々の生活と流域環境変化、家畜の生産性、そして、河川水の水質変化のつながりについて十分な知見はなく、さらに、今後懸念される水資源の不足に伴い、水資源の保全的利用という視点から、モンゴルの水圏、陸圏生態系、そして、人々の生活のあり方について、改善する必要性が生じることが予想される。

2. 研究の目的

本研究では、首都ウランバートルの飲料水源となっているトーラ川を中心に、河川流域における遊牧社会と流域環境の水、土壌、生物に対する影響について、現場調査および衛生リモートセンシングによる画像解析を

用いる事で相互関係に着目した視点での調査を行い、得られたデータを総合的に解析することで、新たな問題解決案を提案する事を目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、大きく分けて3点について調査を行い、最終的には水質および魚類を評価指標とした新たな最適水利用システムの提案、植生の違いを活用した水環境保全の提案を行う。

1. (1)河川や湖沼水質と周辺環境の関係性

河川水質および病原性微生物を明らかにするため、モンゴル国トール川流域にて夏に、サンプリングを行った。河川水環境の調査地点は、トール川沿いにテレルジ(北緯 47° 52.656、東経 107° 36.733)、ガチョルト(北緯 47° 55.535、東経 107° 9.824)、ルン(北緯 47° 51.772、東経 105° 12.248)、止水環境の調査地点として、アブダル(北緯 47° 11.070、東経 107° 3.589)、ウルジ(北緯 46° 55.186、東経 106° 46.532)、スージノール(北緯 47° 5.772、東経 107° 7.807)、エルデネ(北緯 47° 48.696、東経 107° 50.209)で行った。糞便試料として、水場周辺の家畜が去った後、地面にある糞便のうち、目視にて新鮮と判断されたものを採取して供試した。糞便試料は、ポリエチレンのビニール袋を用いて個別に採取し、DNA抽出まで4°Cにて保存した。また、動物種の判定は、糞便の外観的形狀に基づいて行った。ウシ糞便、ウマ糞便、ヤギおよびヒツジ糞便を得た。水試料は、バケツで水深約5cmの表層水を10ℓ採取した。一部は、水質分析に供した。残りはガーゼによる濾過、孔径0.2µmのポリカーボネート製メンブレンフィルターにて吸引濾過し、試料水中に含まれる微生物をメンブレンフィルター上に回収し、DNA抽出に供試した。DNA抽出後、病原性大腸菌や*Cryptosporidium*, *Gialdia*の寄生虫をそれぞれ

れ検出可能なプライマーを用いて検出を行った。また環境水中の大腸菌群の評価では、選択培地によるコロニー計数法を併用した。

(2)水質の違いと羊への影響

2014年の夏にモンゴル中央部のエルデネに試験柵を設置した。子羊(4ヶ月齢)32頭を8頭ずつの4群に分けた。10:00-17:00時を放牧とし、それ以外の時間は柵内で飼養した。放牧前後の時間に異なる場所から取水した水を、8月から9月にかけての49日間各群に給与した。給与した水は、トール川上流(テレルジ)、トール川下流(ルン)、井戸(エルデネ)、池(エルデネ)である。水質評価のために化学成分分析、臭気濃度測定と細菌培養実験を行った。行動評価として各群の飲水量の計測と放牧時の行動をスキャンサンプリングした。健康性・病原性微生物感染の評価として全頭採血し、白血球数の計測、感染マーカー(ハプトグロビン)の計測を行った。また、採糞した糞の下痢症状の確認と病原性大腸菌のDNA抽出に供した。抽出したDNAはPCR法によって増幅したのち、電気泳動法によってその増副産物のバンドを確認した。

(3)水質と魚類群集の関係性

トール川およびその周辺河川における淡水魚の種多様性および遺伝的多様性を調べるために、投網および釣りにより、河川上流中流下流とその周辺の湖で魚を採取し、それらの種類の把握、DNAを抽出し、遺伝的多様性について解析した。

(4)衛星画像による広域解析

現地調査と空間分解能30mのLANDSAT TMおよびETM+で1990年、2001年、2010年に首都ウランバートル近郊を観測した画像の解析によって、草地劣化について考察した。解析に使用したLANDSAT衛星画像は

1990年9月10日、2001年8月31日、2010年7月10日にTMもしくはETM+で取得された。まず植生域と非植生域をNDVIを用いて分類した。植生域において森林と草地を分類するため最尤法による教師付き分類をおこない土地被覆分類図を作成し、草地を抽出した。

衛星画像の解析結果を2010年8月から9月に実施した現地調査の結果と比較した。現地調査においてはGPSを携帯し、ウランバートル近郊の様々な土地利用の状況を確認した。植生調査は50×50m内を一調査地として、さまざまな状態の草地20調査地に対して実施した。1×1mのコドラート内の植生調査を1調査地につき25ポイントおこなった。調査項目は植被率・草丈・優占種・種数とした。

4. 研究成果

(1)河川や湖沼水質と周辺環境の関係性

2014年では、培養法により、すべての環境水試料から大腸菌群が検出された。とくにルンおよび池では 1.3×10^2 CFU/ml、井戸は 8.1×10^3 CFU/mlとなり、井戸からはEHEC(腸管出血性大腸菌)が検出された。家畜に加えてヒトも井戸水を飲用しており、公衆衛生上危険な状況である。DNA解析法により、トール川のテレルジとルンの環境水、また上流域テレルジのウシ糞便から*Giardia*が検出されたため、ウシ糞便による河川汚染が示唆された。また*Cryptosporidium*がテレルジのウシ糞便DNAから検出された。トール川3地点のヤギ・ヒツジ糞便の多くから、EPEC(腸管病原性大腸菌)およびEHECが検出された。EHECは三類感染症の原因に指定された唯一の病原性大腸菌で、その蔓延は非常に危惧される。これら結果は、トール川は水系を介する人獣共通感染症が蔓延し易い状況であることを強く示した。2015年度には、同様の調査を行った結果、井戸水での大腸菌群数の著しい減少が確認された。これは、

2014年と2015年時の違いとして、井戸周辺の構造物が変化したことが大きいと考えられる。2014年には、井戸は、十分に囲まれておらず、地表水が容易に井戸の中に流れ込む構造であった。周辺には、家畜が放牧され、家畜糞尿も多く散らばっている事から、これらが汚染源になっていたと考えられる。2015年度では、井戸の周りにはセメント等で固められ、地表水が流れ込まないように改造されていた。そのため、2014年では 8.1×10^3 CFU/ml だったのが、 4.6×10 CFU/ml となり、約 180 分の 1 に減少したと考えられた。

(2) 水質の違いと羊への影響

池の水は豊栄養化しており臭気濃度も最も高かった。井戸水は硝酸濃度と細菌数 (8100 コロニー/ μ l) が高かった。下流水、池の水を給与した羊の増体量が他の羊の約 1.5 倍大きかった (下図)。下流水と池の水を給与した羊の飲水量が多く (計 2 週間で 21.7 と 20.7 kg)、井戸水は最も少なかった (計 12.3 kg)。井戸水を与えた羊は座位休息が多く、活動性が低かった。下流水を与えた羊に白血球の初期増加と下痢症状がみられた。ハプトグロビンは井戸水を与えた羊から最も多く検出された。下流水を与えた羊に EPEC (腸管病原性大腸菌) の検出された個体の増加 (試験前 2 個体 → 試験後 5 個体) が確認されたが、他の水を与えた羊は試験前後で病原性大腸菌の増加は認められなかった。

これらの結果から、上流や池の水は家畜への給与に大きな問題はなく、むしろ池の水は家畜増体の観点から利用を推奨したい。一方で、下流水は感染症を誘発する可能性が最も高く、井戸水は大腸菌が多く家畜が飲水を避けていることが問題である。モンゴルでは与えた水の違いが家畜の生産性・健康性に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。牧民は給水場所を選択する必要があるだろう。

(3) 水質と魚類群集の関係性

ガチョールトで得られた *Thymallus arcticus* (カワヒメマス) 11 個体について mtDNA 調節領域の塩基配列 (1118 サイト) を決定し、系統学地理的位置づけについて解析した結果、検出された 4 種類のハプロタイプは全てバイカル湖水系の集団と同一のクレードに属した。水質の変化は、下流に行くほど汚染しているが、遺伝的多様性に大きな変化は認められなかった。

2. (4) 衛生画像による広域解析

ISODATA 法による教師なし分類によって草地を 5 クラスに分類し、Class1、2、3 を優良草地、Class4、5 を劣悪草地とした。5 クラスを 1~5 に割り当て、差分を計算することによって約 10 年毎の状態の変化を抽出した。

現地調査と 2010 年の衛星画像の解析結果をもとに中心となる土地利用が ① 定住牧畜 ② 移動牧畜 ③ 耕作地・耕作放棄地 ④ 観光地 (ツーリストキャンプ) ⑤ 保護草地 (フスタイ国立公園) ⑥ 未舗装道路である地域を 100 km² 範囲で選択した。うち定住牧畜と移動牧畜の範囲内での草地クラスの割合の 1990 年から 2010 年までの推移を図 1 に示す。

定住牧畜が主な草地では Class4 の割合が大きく、2000 年代には Class3 の大幅な減少と Class5 の増加が目立つ。同じ土地で放牧を繰り返すため過放牧状態であり、2000 年代には気象災害による被害を受けた牧民が移動してきたことによって過放牧の進行が加速したものと思われる。移動牧畜が主な草地では 5 クラスの割合は均等で、変化が少ない。夏季の居住区周辺の放牧地では局所的に過放牧となり草量が減少するが、移動によって草量が回復するため、草地の持続性が保たれていることがわかる。耕作地・耕作放棄地では Class3 の割合が大きく、1990 年代に Class1、2 が減少し Class3、4 が増加している。作付けされた耕作地は Class1 または 2

に分類されるため、社会主義崩壊による国営農場の解体によって放棄された草地が増加したと一致する。また耕作放棄地では残存肥料への感応がよく、家畜の嗜好性低い種が優占することによりある程度の草量が残るために Class3 の割合が大きいものと考えられる。観光地のツーリストキャンプが多い草地では山や丘陵の一部であるためその谷筋は水分条件が良く植生が豊かな Class1 の割合が比較的大きい。2000年代に Class5 が大きく増加しているのは、この期間に観光施設が増加し、観光客が増え、人為的な影響が強まったことと一致する。フスタイ国立公園内の保護草地では、家畜や人の侵入が少ないため Class2 の割合が大きい。しかしながら、1990年代に一度 Class1、2 が減少している原因は明らかでなく、当時の自然条件を考慮して考察する必要がある。未舗装道路の集中する草地では Class4、5 の割合が大きく、これは草地を走る車による裸地化を表している。両期間において Class5 の割合の増加率が大きいのは、市場経済移行後の近代化の影響により継続して車の所有数・走行量が増えたためと考えられる。このように、土地利用形態によって草地の構成や変化の状況に差違が表れることが明らかになり、草地に与える人為的な影響を衛星画像をもとにした解析から解釈できた。

優良草地から劣悪草地への草地状態の移行を劣化と定義して草地劣化分布図を作成した。草地劣化がすすんだとみなされる地域は 1990 年～2001 年においては対象領域の西側が主であったのに対し、2001 年～2010 年においては東側が主であることが示された。対象地域全体において、劣化草地の割合は全 20 年間で 15.4%、1990 年～2001 年では 10.6%、2001 年～2010 年では 12.1%、回復草地の割合は全体で 8.5%、1990 年～2001 年では 6.9%、2001 年～2010 年では 9.0%となった。劣化草地が回復草地よりも多くを占め

ていること、劣化・回復ともに 1990 年～2001 年よりも 2001 年～2010 年における変化が大きいことがわかった。

主要道路からの距離ごとにクラスの変遷を調べた。道路の影響を受ける範囲を、主要道路からの距離と草地クラス間の相関が最も高くなる距離までとした。半径 2.5 km までの範囲で最も相関が高かったことから、2.5 km 以内における各年の相関を示し、距離と劣化の関係を調べた。1990 年においては距離が離れるとともに Class5 の割合が減少している。2001 年では Class1 と 2 の割合が距離とともに増加し、Class3 と 4 の割合が離れるほど減少していた。2010 年では距離が離れるほどに Class1 の割合が増加し、Class3、4、5 の割合は減少していた (図 2)。このように、草地分布と距離との関係には年によって違いがあり、明確な統一性は見られないが、道路からの距離が離れるほど Class1、2 は増加し、Class4、5 は減少していく傾向にあると考えられた。そこで、優良草地と劣悪草地の二段階での分布状況を見ていくと、どの年においても道路からの距離が離れるほどに優良草地の割合が増加し、劣悪草地の割合が減少する傾向を示した。特に 0～0.5 km 圏内と 0.5～1 km 圏内の間ではその差が大きい。道路近辺の草地では顕著に人為影響を受けている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- 1) Yoshihara Y., Tada C, Takada M, Purevdorj N., Chimedtseren K., Nakai Y. (2016) Effects of water source on health and performance of Mongolian free-grazing lambs. *Small Ruminants Research*, DOI:10.1016/j.smallrumres.2016.02.017 査読有り
- 2) Yoshihara Y., Mizuno H., Ito T. (2015) Effects of soil-salt accumulation on sheep body weight in Mongolian grassland: evidence of excess salt in plant and wool samples. *Lands Ecol Eng* 11: 235-238

DOI:10.1007/s11355-014-0266-7 査読有り.

[学会発表] (計 5 件)

1) Yu Yoshihara, Chika Tada, Moe Takada, Purevdorj Nyam-Osor, Chimdorj Khorolmaa, Yutaka Nakai (2015) Mongolian water quality problem and health of free-grazing sheep, Proceedings of the 5th International Symposium for Farming Systems Design, Montpellier, France. 2015. 9. 7-2015. 9. 10

2) 堀まどか、米澤千夏, LANDSAT 画像によるモンゴル・ウランバートル近郊における草地劣化の抽出 その2, システム農学会 2014 年度秋季大会. 京都大学農学部総合館、2014. 10. 18

3) Moe Takada¹, Chika Tada¹, Yu Yoshihara¹, Yasuhiro Fukuda¹, Tuner Baldan², Yutaka Nakai. (2014) *Escherichia coli* in Tuul River, Mongolia, International symposium for utilization of organic resources and environment protection, Matsushima, Miyagi, Japan, 2014. 8. 1

4) 高田萌、多田千佳、福田康弘、中井裕 (2014) モンゴル・トール川河川水の大腸菌検出方法の比較, 日本畜産環境学会第 13 回大会、麻布大学、2014. 6. 21

5) 堀まどか、米澤千夏, LANDSAT 画像によるモンゴル・ウランバートル近郊における草地劣化の抽出, システム農学会 2014 年度春季大会、東京農業大学、2014. 5. 24

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中井裕 (NAKAI, yutaka)

東北大学・大学院農学研究科・教授

研究者番号: 80155655

(2) 研究分担者

多田千佳 (TADA, Chika)

東北大学・大学院農学研究科・准教授

研究者番号: 30413892

吉原佑 (YOSHIHARA, You)

東北大学・大学院農学研究科・助教

研究者番号: 50552379

米澤千夏 (YONEZAWA, Chinatsu)

東北大学・大学院農学研究科・准教授

研究者番号: 60404844

田島亮介 (TAJIMA, Ryosuke)

東北大学・大学院農学研究科・助教

研究者番号: 60530144

池田実 (IKEDA, Minoru)

東北大学・大学院農学研究科・准教授

研究者番号: 70232204