

北東アジア植生変遷域の水循環と生物・大気圏の相互作用の解明

筑波大学大学院・生命環境科学研究科
杉田 倫明

1. はじめに

本研究は、北東アジアの植生の乾燥・半乾燥域を対象として、大気・水・生物圏の相互作用を解明するために、現地での観測に基づく気象、水文、植物生態、土壤環境の現状を明らかにすると同時に、モデルによる将来予測の実施のためのパラメータ取得、モデル改良を行ってきた。本報告では、これらの中から3つのテーマ、すなわち、「なぜ北東アジアに乾燥・半乾燥地域が存在するのか」、「乾燥・半乾燥地域の水循環はどの様になっているのか」、「そのような場の水、植物群落と大気の相互作用にはどのような特徴があるのか」を中心に上げて得られた成果をまとめていく。

2. 対象地域の概要とデータセット

北東アジアの中に重点的に観測・データの収集を

図る研究対象地域を設定した。モンゴル国北東部のヘルレン川流域とその周辺である(図1)。研究を進める上で必要な詳細な観測を2003年5月から10月にかけて4回の集中観測(IOP)を中心に実施した。測定地点を図1に示す。また、得られたデータの概要は以下の通りである。

2-1 森林植生

モンゴル国の北部山岳地を代表する、カラマツ、シラカバ混合樹林として、ヘルレン川流域上流部のMongonmorit北の森林(Forest)を選択し、測定ステーションが設置された。ステーションには高さ30mの観測タワーを設置し、観測を2002年3月より開始した。測定項目は熱・水・運動量・二酸化炭素フラックス、土壤水分、植生量、一般気象である。IOP期間中にはこれらの自動測定項目に加えて、土壤水、降水、水蒸気、河川水のサンプリングを行

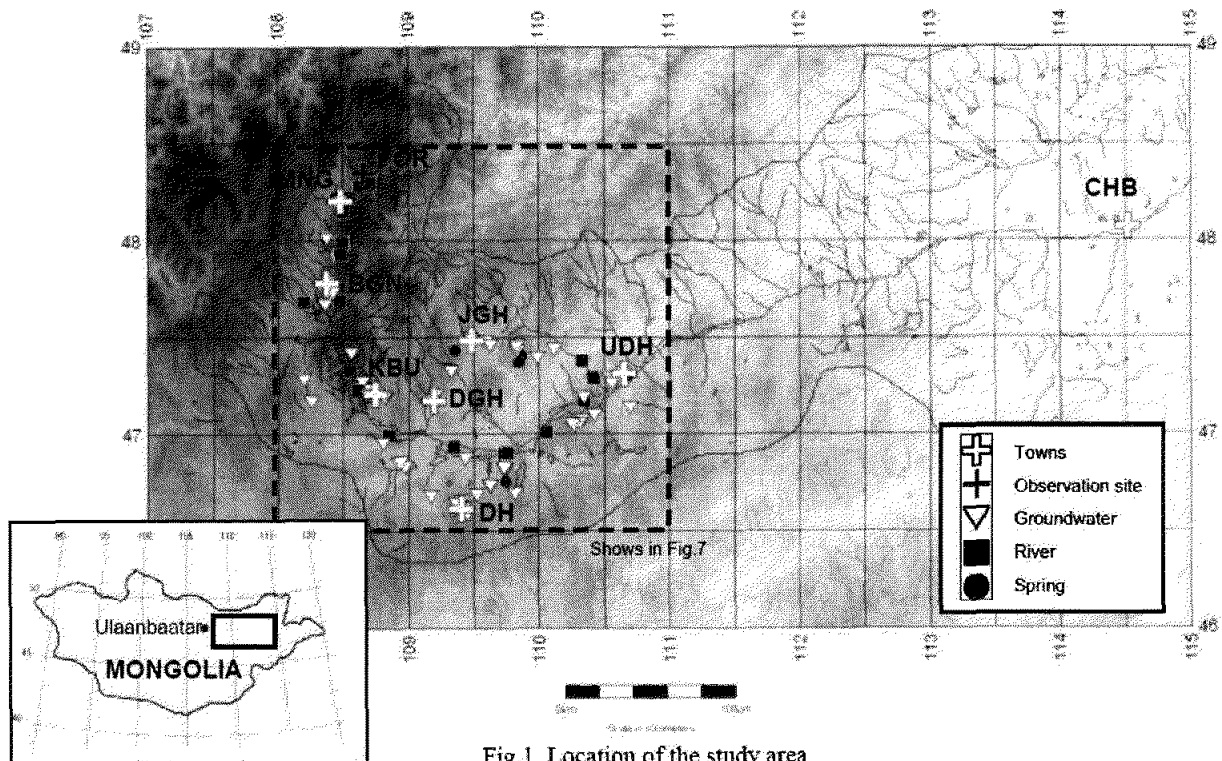


Fig.1 Location of the study area

FOR: Forest Site, MNG: Mongonmorit, BGN: Baganuur, KBU: Kherlenbayan-Ulaan
DGH: Delgerhaan, JGH: Jargalthaan, DH: Darhan, UDH: Underhaan, CHB: Choibalsan

図1 観測地域の概要。FORが森林の、KBUが草原でのフラックス、植生などの詳細な観測場所を示す。JGH, UDH, BGN, DHの草原に自動気象ステーション(AWS)を設置した。River, Groundwater, Springの各点は、水のサンプリング地点を示す。

い、その水質、安定同位体の分析に供した。また、植生の成長を数値としてとらえた。

2-2 草原

モンゴル国中部の草原を代表する地点として、ヘルレン川流域中部のKherlenBayan-Ulaan (KBU)を選択し、2セットの測定ステーションを設置した。1つのステーションは200 m x 170mの保護策で囲むことで放牧圧の無い草原を作り出し、その測定を行うこととした。もう一つのステーションは放牧の影響を受けた状態の草原の状態を測定した。測定項目は以下の通りである。熱・水・運動量・二酸化炭素フラックス、土壌水分、植生量、一般気象、土壌呼吸量、GPS。IOP期間中にはこれらの自動測定項目に加えて、土壌水、降水、水蒸気、河川水のサンプリングを行い、その水質、安定同位体の分析に供した。また、植生の成長量、放牧圧を数値としてとらえた。

2-3.斜面

山地斜面は土壌浸食の生じる場と考えられるため、そのデータ取得のために、流域中流部に位置するBaganuurとKherlenBayan-Ulaanに観測ステーションを設置した。前者は比較的降水量が多いため、山岳性ステップに属し、後者は降水量も少なく通常のステップである。両地点共に、50 m x 50 mの保護区と非保護区を設け、通常の放牧のある場合と無い場合の両方の場合について、土壌浸食量、水の流出量、降水量、および水の同位体組成を測定した。

2-4.その他

上記に代表されるステーションにおいて主たる観測を実施するが、空間的に広がる領域の情報をより正確に把握するために、草原地帯4地点(Baganuur, Jargalthaan, Underhaan, Darhan)において自動気象観測ステーション(AWS)を設置し、観測ステーションの測定値を補完するデータを取得した。測定項目は、一般気象の他、土壌水分量などである。また、IOP期間中にフラックスを同時測定し、その値とAWSデータからフラックス算出のために必要なバルク係数の決定を行った。また植生量、放牧圧、土壌の調査を実施した。

さらに、面的な広がり把握する手段として、航空機を4回の集中観測期間中にチャーターし、流域内の水・熱フラックス分布、分光反射特性、および水蒸気同位体組成測定を実施した。また、自動車による移動観測により、流域内の地下水の水位、同位体組成を測定した。

2-5. ルーチンデータの取得

独自に行った詳細な観測に加えて、年々変化の把握、モデルのキャリブレーション等の目的のために、共同研究機関であるモンゴル国気象学・水文学研究所(IMH)の観測ステーション(図2)でルーチン的に得られている気象データ、河川流量データ、植生フェノロジーデータを過去にさかのぼって取得した。

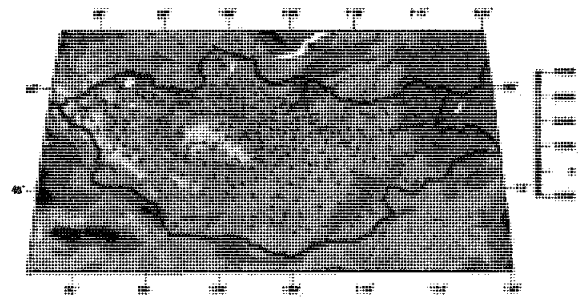


図2 モンゴル国気象学・水文学研究所の観測ステーションの分布

3. 北東アジアの乾燥域形成に及ぼすチベット高原の顕潜熱加熱

中央アジアと中国北部の乾燥域は北半球における他の主要な乾燥域よりも高緯度に位置している。また中央アジアの乾燥域と中国北部の乾燥域の季節変化は異なるため、その成因にも違いがあると推測される。図3は6月から8月までの降水量分布である。図には水蒸気の水平フラックスも矢印で示してある。ベンガル湾では降水が多いのに対し、中央アジアやタクラマカン・ゴビでは降水が少ない。この研究では領域気候モデルにより中国北部の乾燥地域(タクラマカン・ゴビ)の形成要因を調べた。

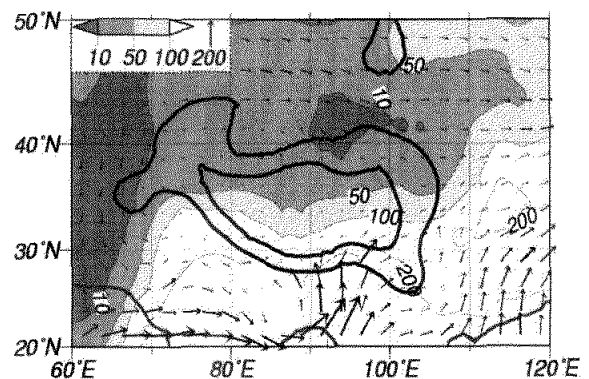


図3 6月から8月までの降水量分布。矢印は水蒸気の水蒸気フラックス

3-1. 数値実験

解析に当たり、コロラド州立大学で開発された領域気候モデルRAMS (Regional Atmospheric Modeling System)に放射、積雲対流等の物理パラメタリゼーションを導入するとともに、東アジア領域における降水分布を的確に再現できるようにパラメータのチューニングを行った (Sato and Kimura, 2004)。モデルをこのように改良することで、変動成分に対する気候応答を調べる感度実験にも利用できるようになったのみならず、大気大循環モデルによる将来予測をより狭い領域にダウンスケールできるようになった。

注目する領域では夏季には強い下降流により降水が抑制されている。この下降流を引き起こしているメカニズムを解明することをめざし、いくつかの数値実験を行った。まず地域規模の気候学的要因に着目するため、日々の気象場の変動を除去する。このため2000年の7月の1ヶ月間の帯状平均場を初期値と境界値とした領域気候モデルによるシミュレーションを行った。30日間の数値積分を行い、図4には最後の10日間の400 hPaの平均鉛直流を示す。

図3と比べてみると、高原より北側の乾燥域は、中心がやや西にずれているものの、ほぼ良く再現されている。次に(1)凝結過程を含まないRUN、(2)放射をゼロに仮定した断熱RUN、および(3)断熱RUNにチベット高原上に熱源を人為的においたRUNを実施した。この結果、中国北部にあたる乾燥域の下降流は(1)の無凝結runでも再現された。これは下降流の原因が必ずしも潜熱加熱である必要がないことを示している。(2)の断熱RUNではほとんど下降流は現れず、夏には地形の力学効果はあまり重要ではないことを示している。(3)のチベット高原の熱源応答ではチベット高原の北側と西側に顕著な下降域が現れる。しかし高原より南にインドモンスーンの降水に相当する熱源を与えた場合には、高原の西方の下降流は顕著ではあるが、北方の下降流は目立たない。他の季節の帯状場を基本場とした数値実験から、高原の熱源応答が北側に伝搬するのは、高層ジェット的位置と関係が深いことが示された。

4. 乾燥-半乾燥地域の水循環:地下水-河川水交流メカニズム

ヘルレン川流域のみならずモンゴル国のような乾燥-半乾燥地域においては、地下水は最も重要な水資源である。従来、ヘルレン川流域の地下水に関し、水文地質学的な観点からの調査事例はあるが、地下水の涵養・流出を含めた水循環プロセスについては、ほとんど明らかにされていない。本研究では、同位体・無機溶存成分等をトレーサーに用い、ヘルレン川流域の地下水涵養および河川水-地下水交流関係を明らかにするとともに、比抵抗探査によって水文地質構造の解析を行い、地下水流動と地質条件との関係性を検討した。

4-1.水のサンプリングと比抵抗探査

ヘルレン川流域上流部のMongenmorit (MNG) 付

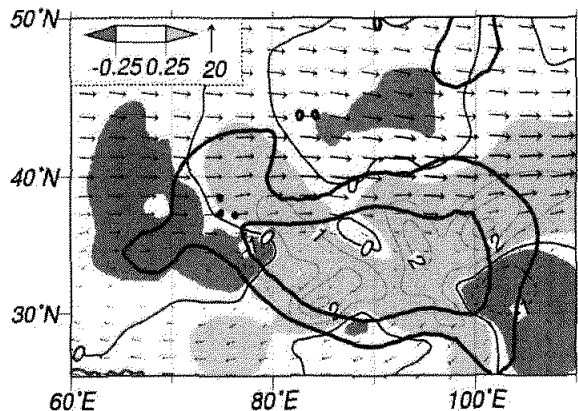


図4 チベット高原に人為的な熱源をおいたRUNによる10日間平均の鉛直流と400hPaにおける風

近から下流域のUnderhaan (UDH)にかけ、およそ4000 km²を対象に、河川水、湧水、既存井戸の地下水、湖水等のサンプリングを行った(図1)。またMNG, Kherlenbayan-Ulaan (KBU), UDH, Choybarsan (CHB)ではIMH所管の気象観測所に、日単位・月単位の降水サンプリングを依頼した。採取した水サンプルは現地で水温、電気伝導度、pH等の基本項目を測定した後日本に持ち帰り、安定同位体(²H, ¹⁸O)、無機溶存成分(Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, SiO₂)の分析を行った。またMNGとKBUにおいて、時間領域電磁探査法(TEM法)による地中の比抵抗探査と、50 m深度掘削孔を用いた地中温度検層を実施した。

4-2.結果および考察

Kherlen川流域における地下水および河川水の水質組成の空間分布を、図5に示した。河川水的全溶存イオン濃度は、地下水のそれに比較し顕著に低い傾向を示した。河川水はCa²⁺, HCO₃⁻成分が卓越する水質特性を示し、上流のMNG周辺から下流のUDH周辺に至るまで、水質特性およびイオン濃度とも大きくは変化しない。これに対して地下水は、上流のMNGからBGN周辺にかけては、河川水に類似するCa²⁺, HCO₃⁻卓越型の水質特性を示すが、イオン濃度は河川水に比較しきわめて高い。また中下流域のKBU, DH, UDH周辺では、Na⁺, K⁺, HCO₃⁻卓越型、あるいはNa⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻卓越型など、河川水とはきわめて異なり、地点ごとの水質特性の違いが非常に顕著である。水質特性からは、上流域の一部を除き、河川水と地下水の交流関係を示す特徴はみられない。

このことをさらに検討するために、ヘルレン川主流の3カ所(図1参照、Baganuur, BGN, Underhaan UDH, Choibalsan CHB)の水文ステーションで流域を区分して、その5月から9月までの5ヶ月間の収支を検討した。図7に区分された流域を示す。また図6に各小流域ごとの面積降水量P、上流域からの流入量と下流域への流出量の差ΔQ、蒸発量P-ΔQの年々変化を示している。この図からも、上流域では

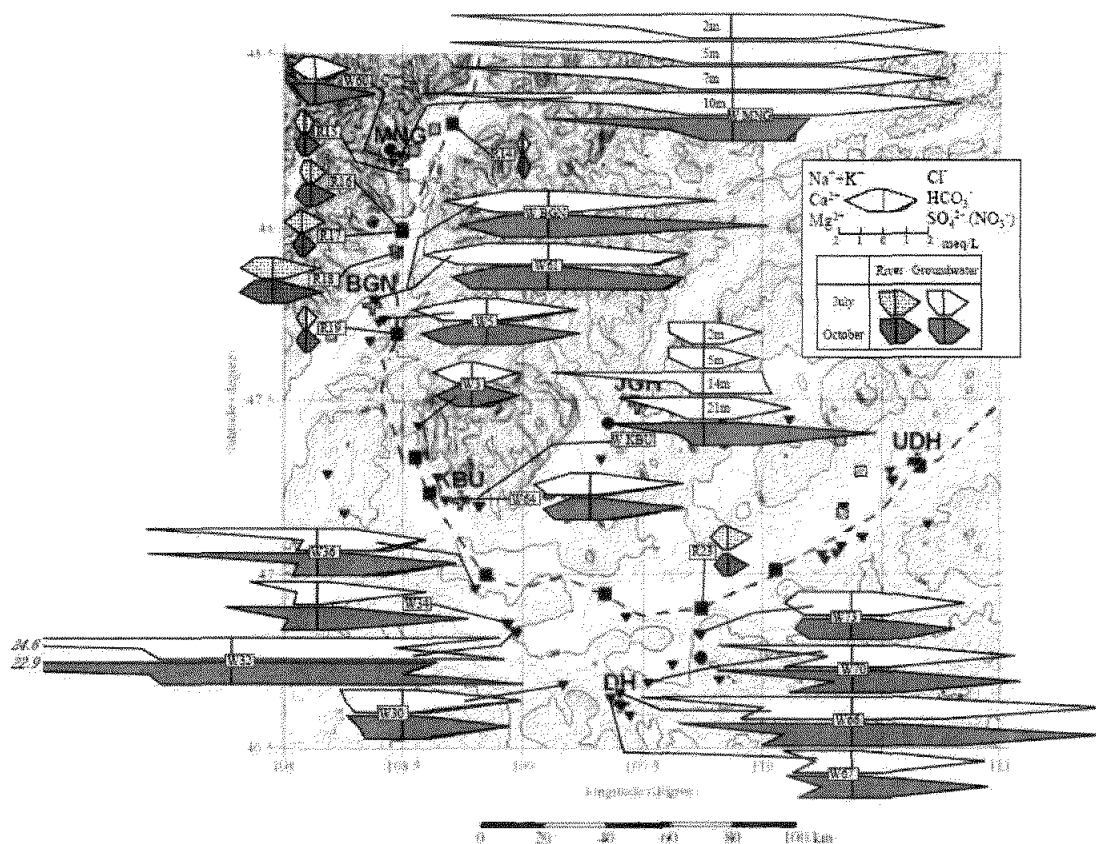


図5 河川水・地下水における水質特性空間分布

降水が河川を涵養しているのに対して、下流域では上流から流れてきた水がそのまま下流へ流れている様子がうかがえる。

同様のことが、同位体の調査からも明らかにされた。降水、河川水の酸素安定同位体比($\delta^{18}\text{O}$)と地点標高との関係を、図7に示す。降水の $\delta^{18}\text{O}$ の夏季加重平均値は、MNGで-12.3‰、UDHで-11.5‰、これに対しKherlen川本流の $\delta^{18}\text{O}$ は、MNGで-15.2‰、UDHで-13.6‰であった。このことは、Kherlen川本流の河川水がMNGからUDHにおける降水、あるいはその降水に起源をもつ地下水によって涵養されてはおらず、より上流の源流域にもたらされた降水によって涵養されていることを示唆している。MNG、KBU、UDHの3地点における降水の $\delta^{18}\text{O}$ 夏季加重平均値は、標高100 m当たりで0.25‰低下する傾向がみられ、これは世界各地で報告されているデータとも矛盾しない。図7において、最上流サンプリング地点であるR14とR13の実測値から蒸発の影響を除去した $\delta^{18}\text{O}$ 値と、MNGとKBUにおける降水の年加重平均値を外挿した $\delta^{18}\text{O}$ 値とが一致する標高から、両地点河川水の涵養高度を推定した。その結果、R14およびR13における河川水の涵養標高は1750~2460 mと算出された。これは、Kherlen川の最源流域に相当する。

MNGおよびKBU両地点における、深度50 mまでの地温分布を図8に示した。MNGでは深度5 m以深において地温は0°C以下を示しており、また比抵抗探査においても、地温測定地点付近においては

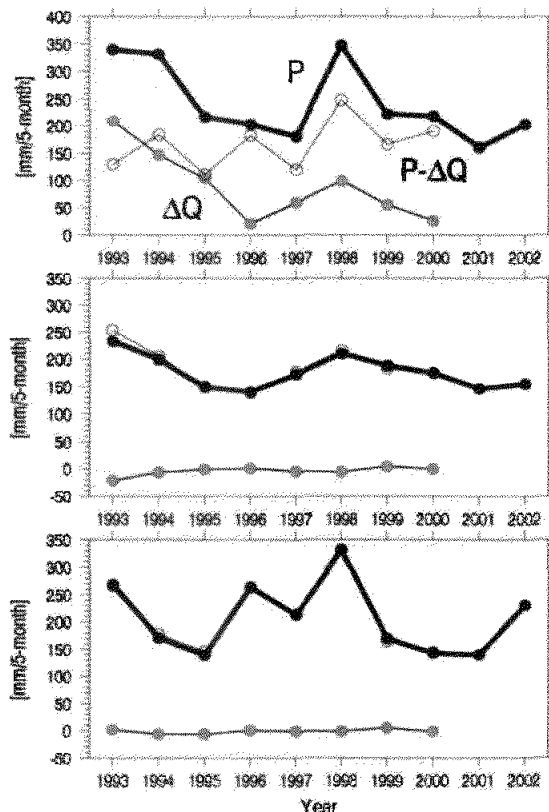


図6 BGNより上流部(上)、BGN-UDHの中流部(中)、UDH-CHBの下流部(下)の河川収支。P:流域降水量、 ΔQ : 流入量一流出量、 $P-\Delta Q$: 蒸発量

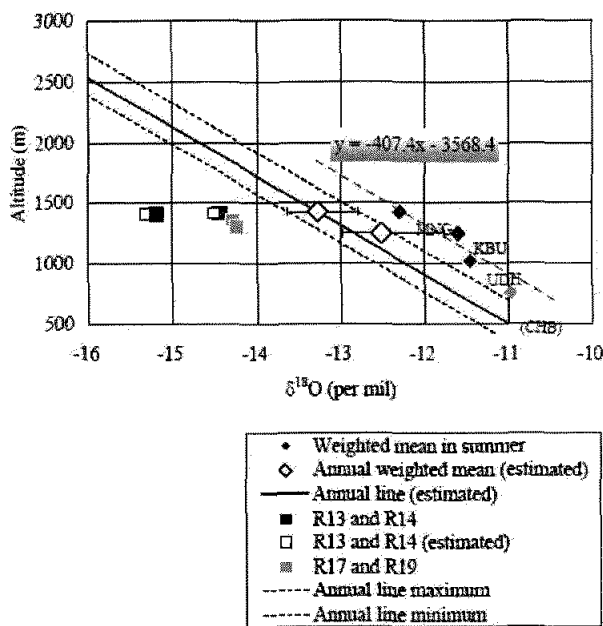


図7 降水・河川水の $\delta^{18}\text{O}$ 高度分布

高比抵抗域が現れていることから、当地点において不連続の永久凍土が存在しているものと判断された。一方、KBU地点では深度50 mまでの地温は常に $+2^\circ\text{C}$ 以上を示している。当地点においても高比抵抗域は存在するが、従来Kherlen川流域における不連続永久凍土域の南限が、標高約1300 mのBGN付近であると指摘されていることも考慮すれば(Sharkhuu, 2001)、当地域において永久凍土は存在しないものと判断される。このようにMNGより上流域では、不連続永久凍土が地中に存在しており、これが地下水の流動にとって不透水層としての役割を果たすことが想定される。基盤岩深度より浅い部分において凍土からなる不透水層が存在することは、水平方向の地下水流動を卓越させる要因となり、地下水から河川水への動水勾配が大きくなる。最源流域ではこのように、永久凍土の存在が、地下水から河川への水涵養を促進している可能性がある。このことは、前述した地下水と河川水の水質特性空間解析や、同位体解析による涵養域の推定結果とも矛盾しない。

5. 乾燥—半乾燥地の植生群落の挙動と特性

5-1. 草原と森林の差違

草原・森林サイトにおいて熱、水および CO_2 純生態系交換量(NEE)を渦相関法によって求めた。図9、図10に両者の季節変化を示す。水、熱の大気と植生群落の違いに関しては、森林のある上流域では降水量が多く、蒸発量を差し引いても地下への涵養が起きていることがわかるのに対し、草原域では、基本的に降水のほとんど全てが蒸発として大気に戻されていることがわかる。熱収支的にも、森林は正味放射量が多く地中熱流量が小さいため、顕熱、

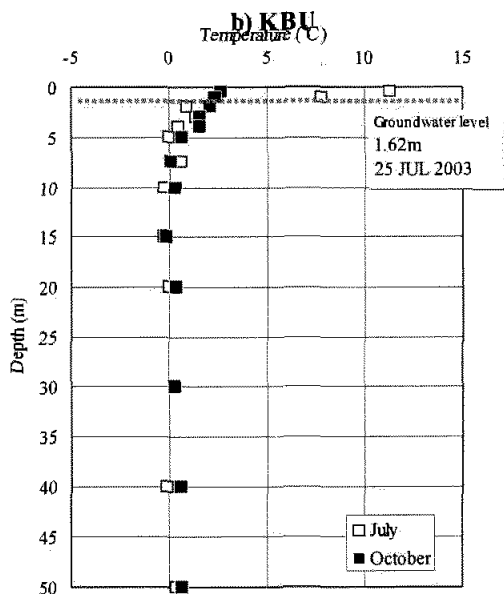
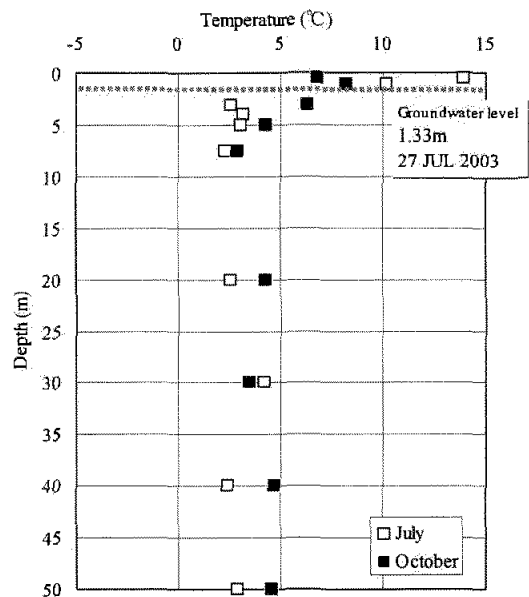


図8 MNG(下), KBU(上)における地温分布

潜熱も絶対値としては大きくなっていることが分かる。一方、ポアソン比は月平均にすると、それほど大きな違いは見られない。しかし、土壌水分不足による蒸発の抑制が草原では顕著に発生する(図11)のに対し、森林ではそれほど明白ではなく、時間スケールの取り方によっては大きな違いがあるといえる。

CO_2 に関しては森林、草原ともに吸収源になっていること、また、草原よりも森林において大きな吸収があることが分かった。また、森林においては、気温がNEEを支配する(図12)のに対し、草原においては土壌水分量がNEEの支配要因となっている(図13)ことが明らかになった。

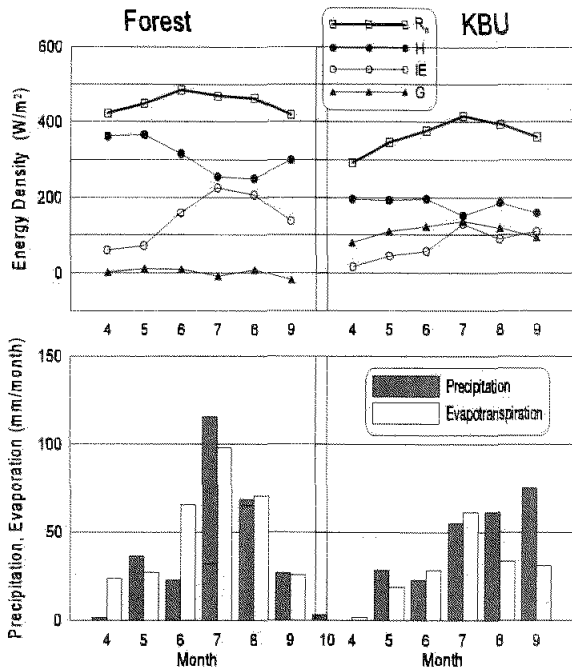


図9 森林(Forest)と草原(KBU)における熱収支項, 降水量, 蒸発量の季節変化. R_n : 正味放射量, G : 地中熱流量, H : 顕熱フラックス, IE : 潜熱フラックス

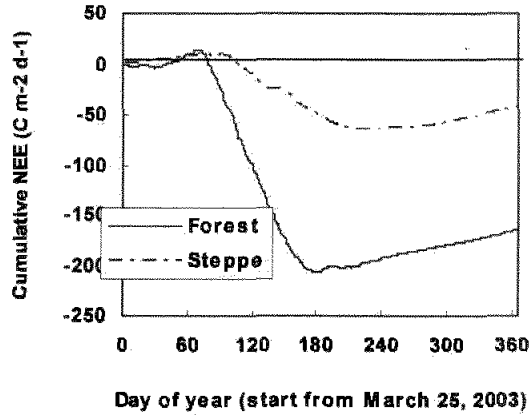


図10 草原と森林の CO_2 交換量の積算値

5-2. 地点フラックスの代表性と広域フラックス

地点で観測された測定値には常に代表性の問題が付きまわっている。この点に関して調査するため、草原のAWS地点において、熱収支の移動観測を実施し、基本的にどの地点でも図9-11で示した関係が得られることが確かめられた。一方、地点のフラックスを流域全体について考えていくときに、広域のフラックスを求める必要がある。このために、航空機観測において計測された乱流データから、分散法を用いて、数十キロスケールの広域顕熱フラックスを計算し、AWS観測値+移動フラックス観測結果

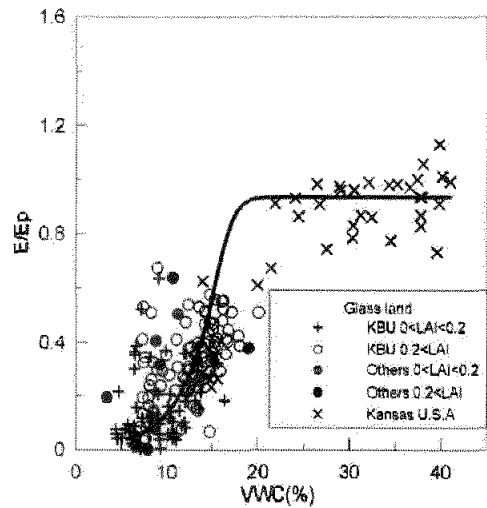


図11 土壌水分(VWC)と蒸発効率(E/E_p)の関係. E : 蒸発量, E_p : 可能蒸発量

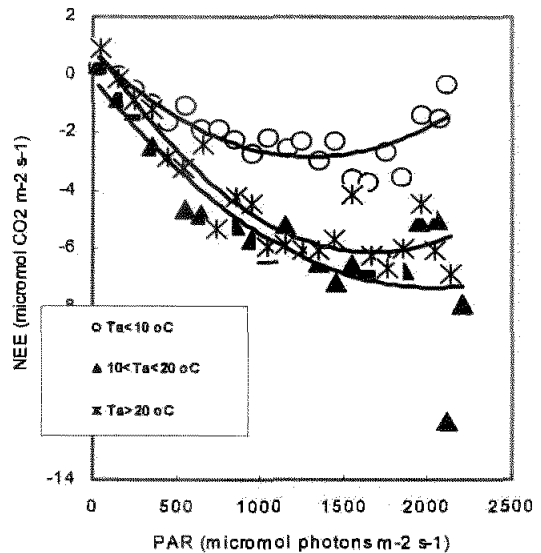


図12 森林における光合成有効放射量PARとNEEの関係. 気温 (T_a) による違いが明らか.

と比較した(図14)。その結果、分散法の係数を本地域に合わせてキャリブレーションすることで、航空機で測定された温度の分散値から地表面の広域顕熱フラックスが推定できることが確かめられた。今後、計算対象を全地域に広げると共に、分散法の一般化を検討する。

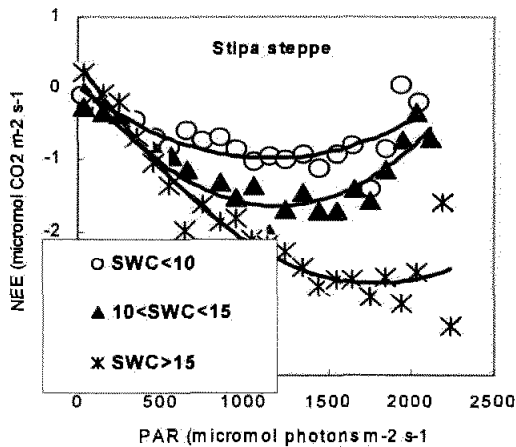


図13 草原における光合成有効放射量PARとNEEの関係。土壌水分(SWC)による違いが明らか。

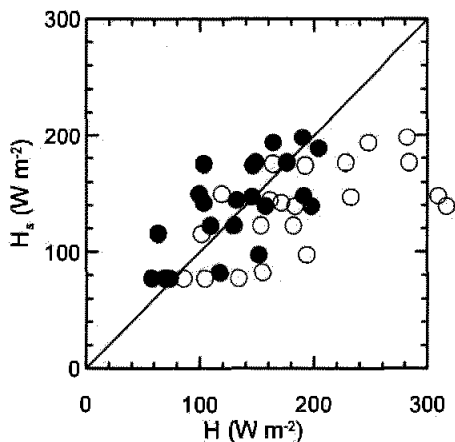


図14 航空機で測定された温度の分散値から求めた顕熱(H)と地表面で渦相関法により求めた顕熱(Hs)の比較。白丸は既存の研究で提案された係数を使用した場合、黒丸は本観測地域で係数を再キャリブレーションした結果

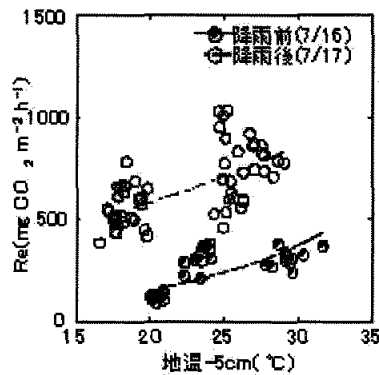
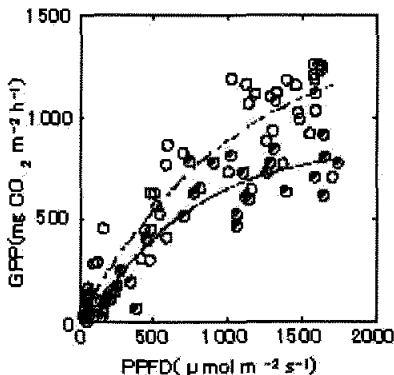


図15 降雨前後の光合成生産(GPP)と生態系呼吸(Re)の関係

5.3. 草原の炭素フラックス(生産と呼吸)に与える乾燥の影響

草原のCO₂フラックスについて、より詳細な環境要因との関係を明らかにし、植物生態のモデル化につなげていくために、KBUの草原において、2003年の生育期間中(7月、8月、10月)にClosed chamber methodによる炭素フラックスの測定を行った。測定された炭素フラックスは生態系レベルの光合成と呼吸(5地点)、土壌呼吸(9地点)である。また、これらの測定は放牧の影響を調査するために2002年8月に設置された200x170 mの保護柵内外で同様に行った。さらに、葉面積指数(LAI)などの植生パラメータ、土壌温度と土壌水分などの環境についても測定を同時に実施した。

光-NEP(生態系純生産)曲線は7月、8月でほぼ同パターンを示し、10月にNEPの最大値は減少した。土壌呼吸は、3月に最も低く、その後は気温の上昇とともに増加した。2003年の7月において、図15は降雨前後での光合成(GPP)と生態系呼吸(Re)の関係を示す。GPPとReの両方とも降雨によって大きく増加することが明らかである。こうした乾燥の影響は生態系呼吸の多くを占める土壌呼吸にも見られた。土壌呼吸の季節変化は地温のそれと相関が高く、一般には指数関数で近似できるが、6月の土壌呼吸速度は地温から予想される値よりもかなり低くなった(図16)。6月の土壌含水率は4%であり、他の月よりも低い値だったことから、乾燥は土壌呼吸速度を著しく低下させることが示された。

5.4 草原植生と土壌に与えるグレイジング(放牧)の影響

家畜による踏圧や採食行動が植生と土壌に対してどのような影響を与えるのかを明らかにするために、KBUのステップ草原において2002年に200 m × 170 mの保護柵を設置した。2003年の6月、7月、8月、9月～10月に50cm × 50cmのコードラートを保護柵内外に12箇所ずつ設置して植生調査を行い、草原群落種組成(イネ科型C3植物、イネ科型C4植物、広葉型C3植物、広葉型C4植物のタイプ分け)や地上部・地下部バイオマスを観察および測定した。また、2002年および2003年に保護柵内外で土壌の物理性・化学性回復過程の経年調査をおこなった。2002年および2003年に、100ccの円筒コアを用いて表層5cmの土壌を不攪乱試料として採取し、三相分布(液相・固相・気相)を測定した。

地上部バイオマスと葉面積指数(LAI)は6月から7月にかけて急増し、8月に最大となったのち、9月末にかけて急速に減少した(図15)。地上部バイオマスが9月に減少した理由の一つは、8月にバイオマスの約2割を占めていたC4植物が9月末には完全に枯れていたことである。地上部バイオマスは、生育期間のはじめとおわりで

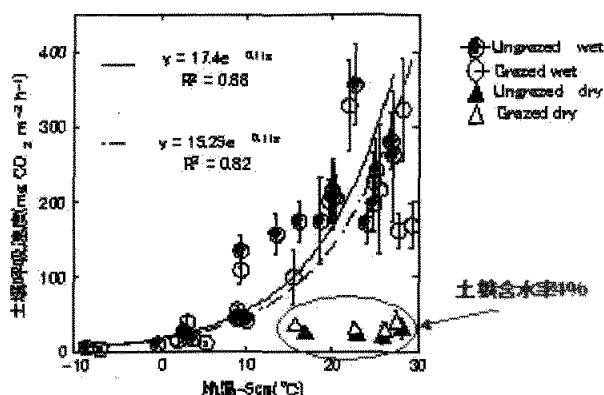


図16 土壌呼吸速度の温度依存性に対する乾燥の影響の保護柵内外の比較。Ungrazed: 保護策内, Grazed: 保護策外

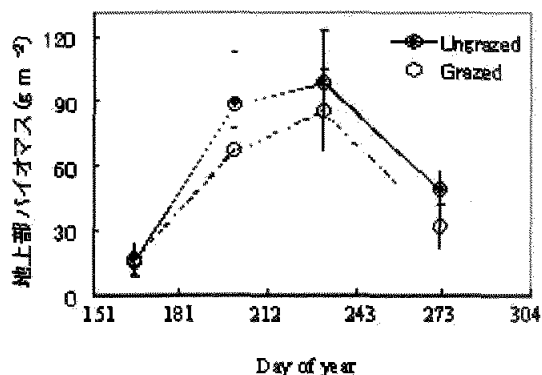


図17 地上部バイオマスに対するグレイジングの影響の保護柵内外の比較。Ungrazed: 保護策内, Grazed: 保護策外

は保護柵内外で有意な差は見られなかったが、夏期の7月と9月には保護柵外よりも中で有意に大きい結果となった。

地下部バイオマスは比較的浅い土壌層で保護柵内の方が大きくなったが、全体としては保護策設置1年目では保護柵内外で大きな差は認められなかった。また、土壌の三相分布を保護柵内外で比較したところ、土壌の固相率は保護柵内よりも保護柵外において増加する傾向が認められた。また、土壌硬度および保水性には、土壌の孔隙率だけでなく、粗孔隙と細孔隙の割合が大きく関与するため、粗孔隙と細孔隙の割合の変化をグラフに表したところ、細孔隙に対する粗孔隙の割合が保護柵内で増加していた。

4. 結論

以上、本研究で得られた結果をまとめると以下の通りである。

1) 北東アジアにおける乾燥気候の形成メカニズムについて領域気候モデルを用いて調べた。従来の研究では、天山山脈やアルタイ山脈が水蒸気輸送

の障壁になっていること、水蒸気が豊富な海洋から離れていることなどが北東アジアの乾燥気候の形成要因であると考えられてきた。しかし数値実験の結果、どちらの影響も本質的な要因ではないということが分かった。一方、チベット高原の地表面は対流圏の中層に位置するため、高原付近では中層大気が地表面から直接加熱を受け、高原周囲の大気に非常に大きな影響を与える。数値実験の結果、亜熱帯ジェット的位置によって、この大気加熱の影響が伝播する方向に違いがあることが分かった。北半球の夏に亜熱帯ジェットはチベット高原よりも北側に位置しており、その結果北東アジアの乾燥地域で沈降水が卓越し、降水を抑制していることが分かった。

2) 降水、河川水の安定同位体比一標高解析からヘルレン川本流の河川水はおもに標高1750 m以上の流域にもたらされた降水によって涵養されていることが示された。ヘルレン川と地下水の水質特性、水収支解析からは中流・下流域において、本流河川水と周辺地下水との交流関係は顕著ではないことが示された。地中抵抗探索と地中温度検層から上流部の不連続永久凍土の存在することが、下流部には永久凍土が存在しないことが示唆された。上流部では、この不連続永久凍土が地下水流動における不透水層としての役割を果たし、これが地下水から河川水への涵養を促進している可能性が高い。

5) 森林と草原で、植生と大気の相互作用には顕著な差があり、森林の蒸発、CO₂フラックスの方が絶対値が高い。大気と群落の相互作用に影響を与える主たる因子は、森林では気温が重要な要素であるのに対し、草原では土壌水分の多寡が重要であることが分かった。さらに、グレイジングが植生のバイオマスや土壌の物理化学性を大きく変化させることが示唆された。グレイジングが抑制されれば、地上部と地下部のバイオマスが増加するだけでなく、土壌の空隙率を増加させて保水率が上がる可能性がある。植生と土壌の回復は植物の生産力と土地の肥沃化をもたらす、相互に正のフィードバック作用が働くものと推察される。一方、過放牧が続けば、モンゴル草原はバイオマスの減少と土壌の劣化が進むこと示している。

5. 今後の展開

1) 気候領域モデルによる予測可能性について

北東アジアの乾燥域の形成要因の解明を通じて、領域気候モデルの精度向上については、一定の成果が得られた。しかし、観測点における気温などの気象要素の時間値、日平均値の再現には、モデルの分解能や地表近くのパラメタリゼーションなどの問題から、傾向誤差(バイアス)が残り、定量的な再現や予測には問題がある。モデル出力による統計モデル(MOS)を利用することにより、この間のギャップを埋める必要がある。さらには大気大循環モデルによる将来予測には、気候の持っている年々の変動と温暖化などのトレンドの効果の相互関係をどのように扱うか検討が必要である。

2) グレイジングの影響評価

保護柵設置1年目の観測結果から、地上部においては植生回復とそれに伴うフラックスや土壌環境の変化が認められた。今後の経年変化と地下部のバイオマス量への影響を明らかにすることで、グレイジングの効果とその回復過程を明らかにしていく予定である。

3) 流域全体の大気―地表面過程の評価

航空機観測データ、モデル化を通して地点で得られた知見をより広い領域に適用できるようにしていく必要がある。

4) 水循環過程

流域内部のより細かな水の収支を評価することで、これまで得られた定性的な知見をより定量的に変えていく必要がある。これを総合して水文モデルを改良していく必要がある。

5) モデルによる将来予測

対象地域の将来予測を領域気候モデル、分布型水文モデル、生態モデルを用いて実施する予定である。具体的には、二つの期間の気候、水文、植生をシミュレートし、その差としての将来変化を評価する。二つの期間として、現在(2003年を中心とした10年平均)と将来(仮想のある1年を中心とした10年平均)をとる。将来として、気候変化と放牧圧変化の二つの条件の変化を考慮する予定である。

引用文献

Sato, T. and F. Kimura (2004): Diurnal cycle of convective instability around the Central Mountains in Japan during the Warm Season. *Journal of the Atmospheric Sciences*, in press.

Sharkhuu, N (2001): Dynamics of permafrost in Mongolia. *Tohoku Geophys. Journ. (Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 5)*, Vol. 36, No. 2, 91-99.

主な研究成果リスト

(1) 論文発表

1. 杉田倫明(2003):北東アジア植生変遷域の水循環と生物・大気圏の相互作用の解明. RAISE Projectの概要. 筑波大学陸域環境研究センター報告, No. 3, 147-156.
2. 杉田倫明(2003):水循環プロセスと生態系との係わり-水文学から見たモンゴル高原-. 岩波「科学」, 2003年5月号
3. 田村憲司(2003):モンゴル草原の土壤保全にむけて-土壌学からみたモンゴル高原-. 岩波「科学」, 2003年5月号
4. Sato, T. and F. Kimura(2003): A two-dimensional numerical study on diurnal cycle of mountain lee precipitation. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 60, 1992-2003.
5. 佐藤友徳(2003):モンゴルにおける地上風系の日変化について. 陸域環境研究センター報告, No. 4, 125-128.
6. 佐藤友徳(2004):2003年7月2日モンゴルで発生した漏斗雲とダウンバースト. *天気*, 51, 161-162.
7. Sato, T. and F. Kimura(2004): Diurnal cycle of convective instability around the Central Mountains in Japan during the Warm Season. *Journal of the Atmospheric Sciences*, in press.
8. Wu, P., J. Hamada, S. Mori, Y. I. Tauhid, M. D., Yamanaka and F. Kimura(2003): Diurnal Variation of Precipitable Water over a Mountainous Area in Sumatra Island. *Journal of Applied Meteorology*, 42, 1107-1115.

(2) 口頭発表

①学会

○国内

1. 中村史郎, 浅沼 順, 檜山哲哉, M. Strunin, 大畑哲夫(2002):航空機観測によるシベリアタイガ林上のフラックスの空間分布について. 気象学会2002年春季大会, 2002年5月.
2. 浅沼 順, 上米良秀行(2002):わが国における過去30年間のパン蒸発の長期トレンドについて. 水文水資源学会2002年研究発表会, 2002. 8. 1.
3. 佐藤友徳・木村富士男(2002):北東アジアにおける乾燥気候の形成と山岳による影響(数値実験). 2002年日本気象学会秋季大会, 2002年10月.
4. Sugita, M. (2002):RAISE project to study the atmosphere-hydrosphere-biosphere interactions in northeastern Asia. 2002 International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, 3-4 December 2002.
5. Tanaka, Y. (2002):Runoff processes of granite and sandstone drainage basins around Ulaanbaatar. 2002 International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, 3-4 December 2002.
6. Asanuma, J., Matsushima, D. and Sugita, M. (2002):Surface flux observations during RAISE intensive observation and estimation of regional energy/water fluxes over Kherlen river basin. 2002 International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, 3-4 December 2002.
7. Tsujimura, M. (2002):Isotopic analysis to study hydrological processes in Mongolia. 2002 International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, 3-4 December 2002.
8. Mariko, S. and Lee, G. (2002):Ecological model and observations to study grazing and climatic impacts on Mongolian rangeland. 2002 International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, 3-4 December 2002.
9. Kimura, F. and Sato, T. (2002):The roles of orography on northeastern Asia dry climate. 2002 International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, 3-4 December 2002.
10. 川田清和・及川武久・中村 徹・田村憲司・杉田倫明・李 吉宰・浦野忠朗・鞠子茂(2003):「モンゴルステップにおける植生および炭素フラックス」. 日本生態学会, つくば 国際会議場, 2003. 3. 20.
11. 辻村真貴, 嶋田 純(2003):モンゴル・ヘルレン川流域における地下水流動系. 地球惑星科学関連学会2003年度合同大会(幕張メッセ国際会議場), 2003. 5. 29.
12. 杉田倫明・小谷亜由美・小島透(2003):乾燥地域の水循環プロセスの解明:モンゴル国ヘルレン川流域における大気-地表面相互作用. 2003年度日本水文科学学会学術大会, 茨城県つくば

- 市, 2003. 10. 30-31.
13. Sugita, M. (2003): Outline of the RAISE 2003 Field Campaigns and some Initial Findings. The 2nd International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, 2-3 December 2003.
 14. Tsujimura, M. (2003): Water and mass cycle processes revealed by tracer approach in Kherlen River Basin, eastern Mongolia. The 2nd International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, 2-3 December 2003.
 15. Lu, M. , Kamimera H , Oyunbaatar Dambaravjaa and Davaa Gombo(2003): Hydrological observation and preliminary analysis of Kherlen River basin. The 2nd International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, 2-3 December 2003.
 16. Sato, T. and Kimura, F. (2003): Subsidence over East Asia responded by diabatic heating of Tibetan Plateau. The 2nd International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, 2-3 December 2003.
 17. Mariko, S. , Urano, T. and Oikawa, T. (2003): Biomass and carbon fluxes in a Mongolian grassland. The 2nd International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, 2-3 December 2003.
 18. Li, S. , Asanuma, J. , Kotani, A. and Sugita, M. (2003): Environmental controls on CO₂ flux over Mongolian larch forest and stipa grassland. The 2nd International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, 2-3 December 2003.
 19. 浅野眞希・田村憲司・前島勇治・川田清和・東 照雄(2004): モンゴル国ヘルレン川流域のステップに分布する土壌の諸性質. 日本ペドロロジー学会2004年度大会, 国立科学博物館 新宿分館, 2004. 4. 3.
 20. 杉田倫明(2004): 北東アジア植生変遷域の水循環と生物・大気圏の相互作用: RAISE プロジェクトの概要. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
 21. 松島 大・松浦陽介(2004): 草地における地表面の二方向・分光反射特性. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
 22. 松浦陽介・松島 大(2004): パターン解析によるモンゴル北東部の土地被覆推定. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
 23. 小島 透・杉田倫明・小谷亜由美(2004): モンゴル・ヘルレン川流域における蒸発散過程を支配する要因の解明. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
 24. 家本 薫(2004): モンゴル草原サイトにおけるシンチロメーターによる顕熱フラックスの測定. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
 25. 小谷亜由美・杉田 倫明(2004): 航空機データを用いた広域地表面フラックスの推定. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
 26. 浦野忠朗・鞠子茂・川田清和・李 吉幸・及川武久(2004): モンゴル草原におけるバイオマスとCO₂フラックスの時間変化. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
 27. 劉 建軍(2004): Influence of Grazing Pressures on Belowground Biomass and Productivity in Mongolia Steppe. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
 28. 田村憲司・浅野眞希・星野亜季・東 照雄(2004): 降水量のことなるヘルレン川流域のステップにおける土壌断面形態的特徴. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
 29. 浅野眞希・田村憲司・東 照雄・前島勇治(2004): モンゴル国北東部のステップにおけるカスターノゼムの諸性質と気候の関係. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
 30. 星野亜季・田村憲司・浅野眞希・東 照雄(2004): モンゴル国ケルレン川流域における草原土壌と耕作放棄地土壌の断面形態と一般理化学性の比較. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
 31. 李 勝功(2004): モンゴルカラマツ林における植物の水の酸素安定同位体の変化とモデリング. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
 32. 山中 勤・辻村真貴・佐々木リサ・杉本敦子(2004): 草原上の大気水蒸気および蒸発散フラックスの安定同位体組成: 日本とモンゴルの比較. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日

33. 佐々木リサ・辻村真貴・山中 勤・杉本敦子・李 勝功(2004):ヘルレン川流域における水循環に伴う安定同位体比変動プロセス. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
34. 安部 豊・田中 正・辻村真貴・嶋田 純・樋口 覚(2004):トレーサーからみたモンゴル・ヘルレン川流域における地下水涵養機構. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
35. 樋口 覚・嶋田 純・辻村真貴・安部 豊(2004):トリチウムを用いたモンゴルケルレン川流域における地下水流動評価. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
36. 嶋田 純・辻村真貴・樋口 覚・安部 豊・斎藤 章(2004):モンゴル・ケルレン川河谷低地におけるTEM法による地下水賦存特性の把握. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
37. 陸 旻皎・上米良秀行(2004):Hydrological observation and preliminary analysis of Kherlen River basin . 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
38. 恩田裕一・田中幸哉・辻村真貴・西川知行・加藤弘亮(2004):環境同位体を用いたモンゴル国半乾燥地域における土壌侵食量と侵食履歴の推定. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
39. 田中幸哉・西川知行・加藤 弘・恩田裕一・辻村真貴(2004):モンゴル国ヘルレン河流域の小流域における表面流発生および土砂流出の違い. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
40. 佐藤友徳・辻村真貴・木村富士男・佐々木リサ(2004):領域気候モデルを用いたモンゴル東部における大気水収支解析. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
41. 岩崎博之・新居知己(2004):モンゴルにおける「雨期中休み」の特徴. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
42. 岩崎博之・新居知己(2004):モンゴルにおける気象要素の年々変動・季節変動がNDVIに与える影響. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
43. 近藤昭彦(2004):モンゴル草原における植物生産力とフェノロジーの年々変動. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会スペシャルセッション, 幕張メッセ, 2004年5月13日
44. 岩崎博之・新居知己(2004):モンゴルにおける気象要素の年々変動と植生指標の年々変動の関係. 日本気象学会春季大会(東京), 2004. 5. 18.
45. 岩崎博之・新居知己(2004):モンゴルにおける「雨期中休み」について. 日本気象学会春季大会(東京), 2004. 5. 18.
46. 佐藤友徳・木村富士男(2004):北東アジアにおける乾燥気候の形成に対するチベット高原の役割. 2004年日本気象学会春季大会(気象庁), 2004. 5. 16.
47. 浅野眞希・田村憲司・前島勇治・松崎浩之・東 照雄(2004):放射性炭素年代測定法によるカスターノーゼム炭酸塩集積層の生成速度について. 日本土壌肥料学会2004年度大会・福岡, 2004. 9. 15.

○海外

1. Sugita, M. (2002):Evaporation map of the world as estimated from combination of complementary relationship and ABL model and verified with GAME-AAN dataset. VIII International Congress of Ecology, Seoul, Korea, 2002年8月.
2. Yuichi Onda, Tomoyuki Nishikawa, Hiroaki Kato, Yukiya Tanaka, Maki Tsujimura, GOMBO Davaa, DAMBARAVJAA Oyunbaatar(2003):Overlandflow generation and surface erosion in Mongolia. American Geophysical Union, Fall Meeting(San Francisco), 2003. 12. 12.
3. Minjiao Lu and Hideyuki Kamimura, Hironori Doi, D. Oyunbaatar and G. Davaa(2004):Spatial Variation and Long-Term Change of Hydrological Regime of Kherlen River Basin, Mongolia. Western Pacific Geophysics Meeting, 2004, Hawaii, Aug. 18, 2004.

②その他

○国内 6件

1. Sato, T and F. Kimura(2002):The relationship between precipitable water and static

stability around the Central mountains in Japan during the warm season. International Workshop on GPS Meteorology, 2003, 2003. 1. 6.

2. Sato, T. and F. Kimura (2002): The orographical effect on the formation of arid climate in northern China. The 2nd workshop on regional climate modeling for monsoon system, 2003, 2003年3月.
3. 松島 大 (2004): モンゴルで行った気象観測と植生リモートセンシング. 仙台管区気象台 科学講演会, 仙台, 2004. 2. 23.
4. 辻村真貴 (2004): トレーサー水文学の可能性—モンゴルにおける研究事例を中心に—. 日本学術会議地球環境研連GWSP (Global Water System Project) 小委員会研究会 (ペアーレ京都), 2004. 2. 19-20.
5. 杉田倫明 (2004): 最近の地球環境関連分野における気象・水文計測器の利用. 日本農業気象学会セミナー, 東京ビッグサイト, 2004. 4. 9.
6. 松島 大 (2004): 陸面過程とリモートセンシングあれこれ. 第16回日本気象学会夏季特別セミナー, 2004. 7. 24.

○海外

1. Hiroyuki IWASAKI (2004): Impact of interannual variability of meteorological parameters on NDVI over Mongolia. The Sixth International Workshop on Climate Change in Arid and Semi-Arid Region of Asia, Ulaanbaatar, Mongolia, August 25-26, 2004.

(3) その他

○その他出版物

1. Saandar, M and Sugita, M (2004): Digital atlas of Mongolian natural environments. (1) vegetation, soil, ecosystem and water. CD-ROM, 2004年9月
2. 浅野真希 (2003): 日本モンゴル学術交流会. 岩波「科学」, 2003年11月号

○修士論文

1. Abe, Yutaka (2004): Study on groundwater flow system in the Kherlen river basin, Mongolia. 63p., Appendix 8p. (筑波大学生命環境科学研究科)
2. 浅野真希 (2004): モンゴル国ヘルレン川流域のステップに分布する土壌の諸性質に関する研究. 73p. (筑波大学生命環境科学研究科)
3. 小島 透 (2004): モンゴル国ヘルレン川流域における蒸発散を支配する要因の解明. 85p. (筑波大学環境科学研究科)
4. 佐々木リサ (2004): モンゴル国ヘルレン川流域における水循環に伴う安定同位体比変動プロセス. 58p. (筑波大学環境科学研究科)
5. 西川知行 (2004): 環境同位体を用いたモンゴル国半乾燥地域における土壌侵食量と侵食履歴の推定. 138p. (筑波大学環境科学研究科)

○卒業論文

1. 鈴木将郎 (2002): モンゴル国ヘルレン川流域の植生変化と水文環境の関係. 40p. (筑波大学自然学類)
2. 星野亜季 (2004): モンゴル国における自然草原と耕作放棄地土壌の一般理化学性の比較. 23p. (筑波大学生物資源学類)