

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

津久浦 朱 美*¹⁾・星 野 仏 方¹⁾・杉 本 敦 子²⁾

Estimating forest line changes and factors influencing long-term variation in Mongolian Taiga Forest

Akemi TSUKUURA¹⁾, Buho HOSHINO¹⁾ and Atsuko SUGIMOTO²⁾
(Accepted 23 July 2010)

1. はじめに

モンゴル国は、植生上、草原と砂漠の国とみられているが、北部にはシベリアタイガ林が広がる。それが中央部で草原化し、南分で砂漠化する。モンゴル国北部の山岳地帯を占めるタイガ林は、カラマツが優占する落葉針葉樹林であるが、近年地球温暖化などの影響によって、その南方限界線が北方に後退を始めている。

年平均気温はここ 60 年間で 1.8℃ 上昇しており、世界規模での 100 年間の 0.74℃ 上昇¹⁴⁾ と比較すると、2 倍の上昇率である。これに伴い、ここ 35 年間で永久凍土の南限は、Khentii 地域における観測によると、気温 1℃ の上昇につき 20~30 km の割合で北方に後退している¹¹⁾。この割合で温暖化が進むと、永久凍土地帯の面積は 2040 年までに約 28%、2070 年までにはさらにその 25% の縮小が予測されている⁸⁾。

夏に乾燥が厳しい東シベリアにおいて、植物は永久凍土の融解水を利用して、生育するが¹⁵⁾、モンゴル国のタイガ林も、永久凍土からの融解水を利用していると考えられている。近年の温暖化による永久凍土の消失は、それゆえ、タイガ林の植物を水ストレス状況下に置き、その後退を引き起こす一因と考えられる。さらに、住民の燃料としての森林利用¹⁾、森林資源の商業利用の拡大、森林火災や昆虫・疾病による森林被害などにより、モンゴルの森林生態系の破壊が進んでいる³⁾。

本研究では、このことを踏まえ、以下の 3 点を明らかにすることを目的とする。

(1)衛星画像解析により、モンゴル国北部森林地帯における森林限界線を明らかにする。(2)気象データから森林成立条件を分析することにより、モンゴル国における森林限界線の変動を明らかにする。(3)森林限界線において土壌水分や炭素同位体比 $\delta^{13}\text{C}$ の空間分布を調べることにより、現在生息している植物の水ストレスと地形との関係を明らかにする。

2. 使用データと研究方法

2.1 研究対象地

研究対象地はモンゴル国の首都ウランバートルの北東部に位置するモンゴンモリット地区 (Mongonmorit, N 48°20' 55.7" E 108°39' 24.9") である。モンゴンモリットはヘルレン (Kherlen) 川上流部に位置し、年平均気温は約 -2.7℃、年平均降水量は約 272 mm であり、標高は 1500~1600 m の寒冷半乾燥大陸性気候である。モンゴンモリットが位置するヘンティ (Khentei mountain) 地域はシベリアから南に延びてきたタイガ林の南限に位置しており、モンゴンモリットは森林と草原の移行帯となっている場所にある。Figure. 1 はサンプリング地点の模式図である。北向き斜面から尾根を越えて南向き斜面を下る方向に MM2~MM12 のサンプリングサイトを設定した。本研究ではこれらの記号でサイトを記載する。北向き斜面 (MM2) は森林内にあり、その森林は落葉針葉樹のカラマツ (*Larix sibirica*) が優占し、まばらにシラカバが分布している。稜線から北側の南向き斜面にもカラマツが分布し、稜線から下にむかって立木密度はまばらとなり、MM7 のサイトは斜面に生息するカラマツのうち最下端の 1 本であ

* 2009 年度酪農学園大学環境システム学部生命環境学科卒業生

¹⁾ 酪農学園大学環境システム学部生命環境学科環境リモートセンシング研究室

Environmental Remote Sensing Laboratory, Department of Biosphere and Environmental Sciences Rakuno Gakuen University, Ebetsu, 069-8501, Japan

²⁾ 北海道大学大学院環境科学院地球圏科学専攻

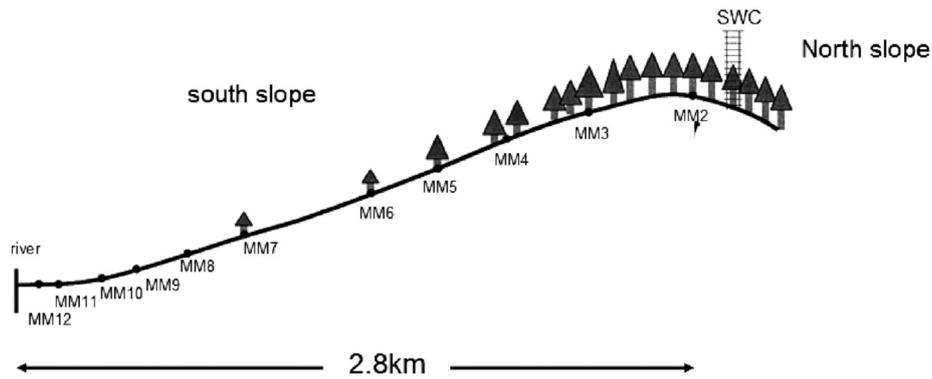


Figure. 1 The place of the sampling sites in Mongonmorit

る。MM8～MM12は森林草原内にあり、MM12からヘルレン (Kherlen) 川までは約 1.9 km である。

2.2 衛星画像データ

データは 250 m 分解能の Terra/MODIS (2000, 2001), Landsat MSS (1974.02.27), Landsat TM (1989.08.07), ALOS AVNIR-2 (2006.09.16) を使用し、解析は ESRI 社製の Arc GIS, ERDAS 社製の ERDAS IMAGINE, ITT 社製の ENVI を用いて行った。

250 m 分解能の Terra/MODIS 画像は 2000 年～2001 年の MODIS の 250 m (ch1-赤; ch2-近赤外) データセットから 8 日平均, 32 日平均の MODIS NDVI の合成画像を作成し、雲量などを除いて、更に 500m MODIS の月平均 NDVI の合成画像を参考に季節変化などを考えながら、地表面の植生を木本、草本と裸地に分類した。その他の衛星画像は正規化植生指数 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) を計算し、NDVI の値から閾値を決め、森林と草原の境界線を算出したものである。

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

(NIR は近赤外光, RED は赤色光の反射率を示す)⁶⁾

250 m 分解能の Terra/MODIS (2000, 2001) の衛

星画像を用いてモンゴル国における森林限界線の分布を抽出し、Landsat MSS(1974.02.27), Landsat TM (1989.08.07), ALOS AVNIR-2 (2006.09.16) の衛星画像を用いてモンゴンモリットにおける森林限界線の時系列変化を推定して、視覚化し変動を調べた。

2.3 気象データ

気温・降水量データはインターネットの HP¹⁷⁾ に掲載されている 1961 年から 1990 年までの夏の平均気温及び年平均降水量の分布図を用いた。永久凍土の分布データは NSIDC (National Snow and Ice Data Center)¹⁸⁾ 掲載の分布図を使用した。これらの分布図と 250 m 分解能の Terra/MODIS の森林分布図とを重ね合わせ、気象学的に森林成立条件を調べた。モンゴンモリットにおける気象データはサンプリングサイトから約 50 km 離れたモンゴル国家気象局の観測所の気温、降水量の観測データ (1993～2008 年) を使用した (Table 1)。

2.4 土壌水分データ

2008 年 8 月上旬及び 2009 年 9 月上旬にモンゴル国モンゴンモリットの各サンプリングサイトにおいて TDR 土壌水分計 (12 cm) を用いて土壌水分量の測定を行い、そのデータを用いて調査地における土

Table 1 monthly precipitation (mm) in 2007 and 2008, and the the precipitation in growth season (Jun-Aug) and the annual mean precipitation (1993-2008) in Mongonmorit.

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	total
2007	0.4	0.3	5	7.2	6.9	90.3	30.8	80.4	2.7	9.5	1.2	2.2	236.9
2008	1	0	0.6	3.9	19.1	130	62.3	61.4	19.4	13.3	0.2	0.4	311.6
growth season (Jun-Aug)	mean annual (1993-2008)												
	201.5												
	253.7		272.2										

壤水分量の空間分布を調べた。

2.5 植物のサンプリングと炭素安定同位体比 $\delta^{13}\text{C}$ の分析方法

2008年8月上旬に調査地の各サンプリングサイトにおいて1~3個体のカラマツをサンプル木本として設定し、各個体から3または4本の日当たりのよい当年枝を選び、その葉(a, b, c)をサンプルとして採取した。サイトに1本しかカラマツ個体がない場合は1個体のみである。さらに2009年9月上旬に調査地の各サンプリングサイトにおいて、大部分のサンプリングサイトに分布している同一種の草本植物、約6種類を各サンプリングサイトでその植物の地上部をひと固まりサンプルとして採集した。採集したカラマツおよび草本植物の葉のサンプルは乾燥させ、一つずつすり鉢ですりつぶして粉にし、錫箔に2mg包んだ。錫箔に包んだサンプルは北海道大学大学院地球環境科学研究院のconflo元素分析計(EA 1180 Thermo Electron)安定同位体質量分析計(deltaV Thermo Electron)オンライン分析システムを用いて $\delta^{13}\text{C}$ の分析を行った。分析に際し、2種類のアミノ酸のスタンダード(DL-Ala $\delta^{13}\text{C} = -23.5\%$ 及びTyr $\delta^{13}\text{C} = -26.2\%$)を用いた。 $\delta^{13}\text{C}$ はその植物の水ストレス指標として用い、森林-草原境界域に分布する植物の水ストレスの空間分布を調べた。

$\delta^{13}\text{C}$ 値と水ストレスの関係は次の通りである。植物は気孔を開いている時は、大気から気孔内への二酸化炭素の供給が迅速に起こる。気孔内から葉の細胞内に二酸化炭素が入り、光合成酵素に取り込まれる際、活性エネルギーの高い ^{12}C が ^{13}C より先に取り込まれ⁴⁾¹³⁾、光合成産物の炭素同位体比は軽くなる。一方、気孔が閉じている時は大気から気孔内への二酸化炭素の供給が遅くなり、細胞内の二酸化炭素分圧は低下する。気孔内の二酸化炭素は光合成活動により ^{12}C が多く使われるため炭素同位体比は重くなっており⁴⁾¹³⁾、気孔が閉じている時は外気からの CO_2 の供給が遅いため、気孔内の CO_2 の炭素同位体比はより高くなる。この気孔の開閉度は植物の水利用効率(WUE)と大きく関わっており、植物は水ストレスがかかると気孔を閉じるため $\delta^{13}\text{C}$ 値は高い値をとるようになる⁹⁾。これにより、乾燥地域の C_3 植物の $\delta^{13}\text{C}$ 値はその植物の水ストレス状態を示している。 $\delta^{13}\text{C}$ 値は以下の式で定義される。

$$\delta^{13}\text{C} (\%) = [(R_{\text{試料}}/R_{\text{標準}} - 1) \times 1000] \quad R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$$

炭素安定同位体比分析後、カラマツに関しては、

$\delta^{13}\text{C}$ 値を各サンプリングサイトで平均化し、各データの標準偏差と共に $\delta^{13}\text{C}$ 値の空間分布を示した(Figure 8)。草本植物に関しては、採取した6種類の草本植物間で $\delta^{13}\text{C}$ 値に違いが見られたが、 $\delta^{13}\text{C}$ 値の空間分布が同様な傾向を示したため、サンプリングサイトごとの $\delta^{13}\text{C}$ 値の平均値を計算し、各サンプリングサイトの各植物の $\delta^{13}\text{C}$ 値と各サンプリングサイトの平均値との差の空間分布を示し(Figure 9)、各サンプリングサイトにおける草本植物の $\delta^{13}\text{C}$ 値の平均的な空間分布とした。標準偏差は各サンプリングサイトの各植物の $\delta^{13}\text{C}$ 値の差を示す。

2.6 脱脂処理

植物に含まれる脂質は一般的に低い $\delta^{13}\text{C}$ をもつため、脂質の含量が高い場合、その影響を受けることがある。本研究では脱脂処理を行ったものと未処理のものを比較し、その影響を調べた。

各葉のサンプルを0.03gずつバイアルビンに入れ、2mlアセトンを入れ、20分間超音波振動にかけた。それを一晩静置した後、ろ過による溶媒の除去、イオン交換水によるサンプルの水洗いを3回行い、オープンで乾燥後、2mgをスズ箔に包み、北海道大学大学院環境科学院のconflo元素分析計(EA 1180 Thermo Electron)安定同位体質量分析計(deltaV Thermo Electron)オンライン分析システムを用いて炭素同位体比 $\delta^{13}\text{C}$ の分析を行った。脱脂前及び脱脂後で、カラマツ及び草本植物のどちらにおいても $\delta^{13}\text{C}$ 値の空間分布は類似しており、脱脂前及び脱脂後の $\delta^{13}\text{C}$ 値は高い相関係数($R^2 = 0.9433$)で相関関係にあるため($y = 1.0667x + 1.1168$)、脱脂前及び脱脂後で $\delta^{13}\text{C}$ 値に変化はないものとし、以降は脱脂前の $\delta^{13}\text{C}$ 値を用いる。

3. 結果・考察

3.1 モンゴル国における森林限界の抽出

Figure 2は人工衛星(250m分解能のTerra/MODIS, 2000, 2001)から抽出したモンゴル国における植生図を示す。黒色は森林を表す。Figure 2より、森林は北部山岳地域、ハンガイ山脈及びアルタイ山脈などに主に分布しており、森林限界はモンゴル国北部山岳地帯では北緯48度付近に、西部のハンガイ山脈やアルタイ山脈では北緯46度付近に分布している。モンゴル西部において森林が山脈付近にのみ生息しているのは標高が低い場所及び南斜面では太陽の日照時間の増加等により蒸発量が降水量を上回り、樹木が生長に必要な水分量を確保できなくなるためであると考えられる。

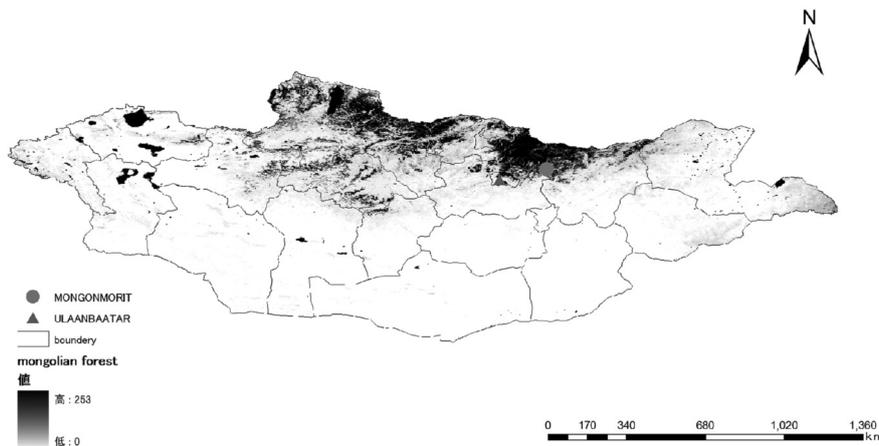


Figure. 2 The vegetation coverage in Mongolia. Black is Forest. Line is boundary. ● is Mongonmorit. ▲ is Ulaanbaatar.

3.2 気象学的森林成立条件

(1) 森林分布と気温分布

Figure 3. はモンゴル国における森林分布 (250 m 分解能の Terra/MODIS) と 1961~1990 年の夏の平均気温の等温線 (赤線) を重ねた図である。黒色は森林を表す。Figure. 3 よりモンゴル国において森林が分布している地域は年間を通して他の地域よりも気温が低く保たれており、北西に行くほど気温は低くなっている。また森林分布は夏の平均気温分布と類似しており、森林の大部分は夏の平均気温が 16℃ 以下の場所に分布していることがわかった。これは吉良氏による温量示数の森林が成立しうる温度条件である 15℃・月以上⁵⁾ を満たしており、乾燥地

域であるモンゴル国においては気温が植物の利用可能な水分条件の制限要因の一つとなっているため、地域的な規模において森林分布は気温に左右されていると考えられる。

(2) 森林分布と降水量分布

Figure. 4 は森林分布 (250 m 分解能の Terra/MODIS) と 1961 年~1990 年の年平均降水量の分布図 (赤線) を重ねたものである。黒色は森林を表す。モンゴル国において降水量は北西部および北中央部において最大になっており、南西部で最小になっている。また森林は北部において年平均降水量が 350 mm 以上の場所に、西部においては 300 mm 以上の

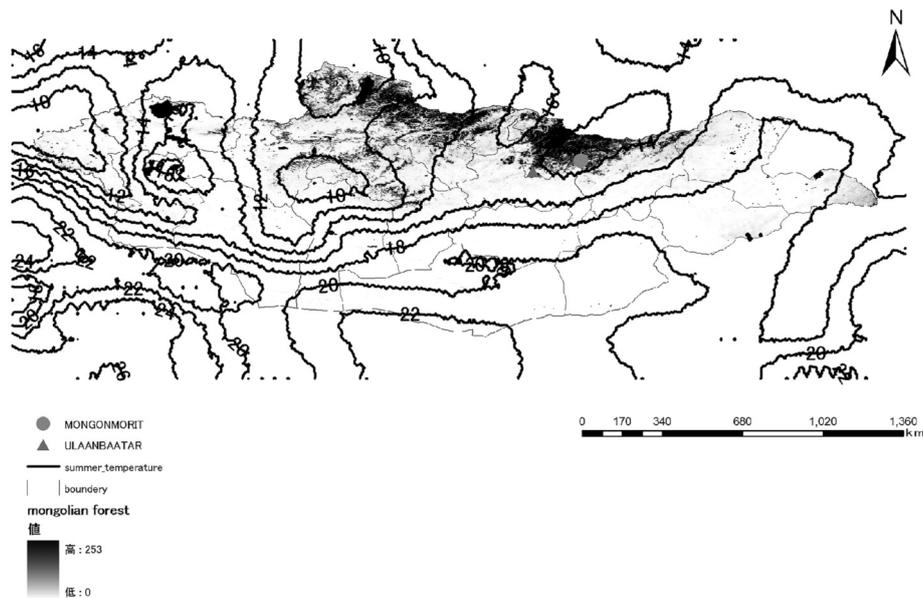


Figure. 3 The distribution of forest cover (250mresolution MODIS) and the average temperature in 1961-1990 summer. Black is tree. Line is average temperature in summer. ● is Mongonmorit. ▲ is Ulaanbaatar.

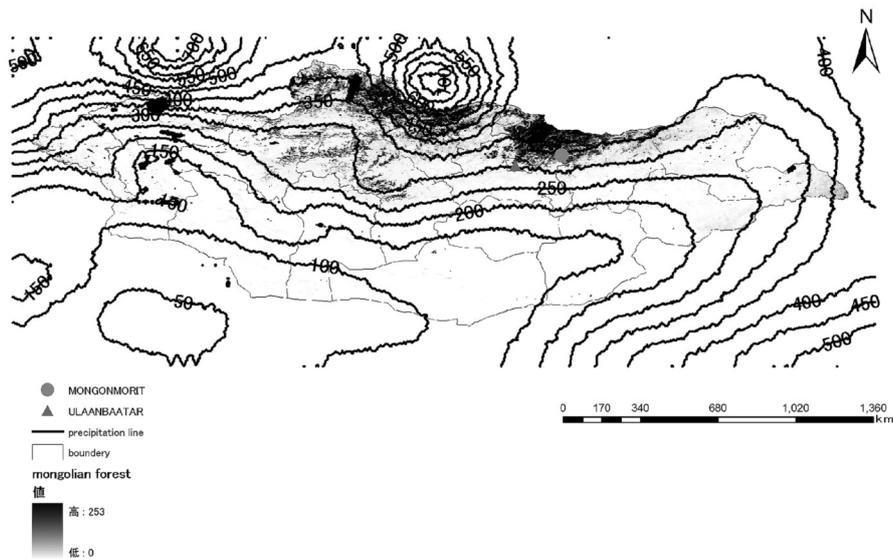


Figure. 4 The distribution of forest cover (250m resolution MODIS) and the annual average precipitation in 1961-1990. Black is tree. Line is annual average precipitation. ● is Mongonmorit. ▲ is Ulaanbaatar.

場所に分布していることがわかった。乾燥地域であるモンゴル国において降水量は貴重な水資源であり、300 mm以上の降水量があると蒸発量よりも森林の水涵養能力により保持できる土壌水分量が多くなり、森林を保つことができるようになると考えられる。

(3) 森林の分布と永久凍土の分布

Figure. 5は永久凍土の分布図(線)と森林の分布図(250 m分解能のTerra/MODIS)を重ねたものである。モンゴル国には不連続永久凍土、散在的に分

布する永久凍土、季節的にできる永久凍土が分布している。不連続永久凍土の分布と森林分布はほぼ一致しており、森林は永久凍土が存在する場所に分布していることが視覚的にも明らかであることがわかった。モンゴル国の北側に位置する東シベリアでは乾燥の厳しい夏に永久凍土の融解水を利用していることが報告されており¹⁵⁾、モンゴル国においても森林は凍土の融解水を利用しているため、永久凍土の分布と森林分布とがとても類似していると考えられる。

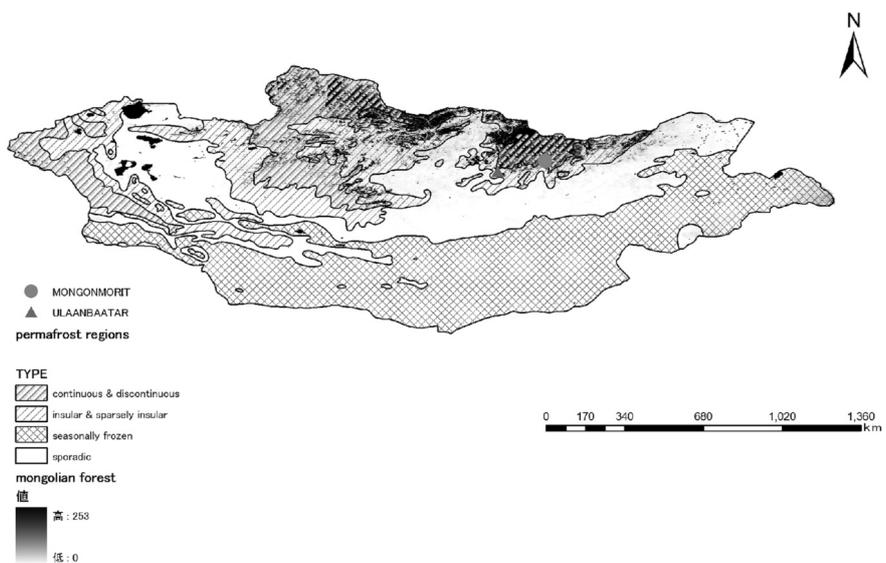


Figure. 5 The distribution of forest cover (250m resolution MODIS) and permafrost. Black is tree. ● is Mongonmorit. ▲ is Ulaanbaatar.

3.3 モンゴンモリット地区における森林限界とその変動の推定

Figure. 6はモンゴンモリット地区における植生図を示す。これらの画像はNDVIで表示している。黒色は森林を、灰色は草原を表す。1974年にはMM6付近に森林限界が広がっていたが、1989年にはMM5付近に、2006年にはMM3付近に広がっており、1974年から2006年の32年間で約1 km 後退していることがわかった。森林限界線の後退速度は約30 cm/年であった。植物のフェノロジーに基づき、ここで森林域のNDVIはFigure. 6(a)では117 (−0.085) 以下、Figure. 6(b)では186 (0.45) 以上、Figure. 6(c)では137(0.07)以上とした。Figure. 6(a)のNDVI値が117 (−0.085) 以下と減少しているのは、この時期に撮影された衛星画像は2月であり、この季節は雪のカバーもあり、モンゴンモリットに

分布する森林の大部分は落葉針葉樹のカラマツであるため、冬の時期は落葉して、光合成活性が低かったためNDVIはマイナスになっている。しかし、カラマツ林と周辺の草地の境界がはっきりしていることから、森林と草地の境面と断定した。Figure. 6(b)は8月に撮影された衛星画像で、Figure. 6(c)は9月に撮影された衛星画像であり、カラマツのフェノロジーの特性によって、植物の成長期である8月の方で光合成活性が高いため、Figure. 6(b)のNDVI値が最大となっている。

3.4 モンゴンモリット地区における土壌水分の空間分布

Figure. 7はモンゴンモリット地区における土壌水分の空間分布を示している。白棒は2008年、黒棒は2009年の土壌調査で測定した土壌水分量(%)を

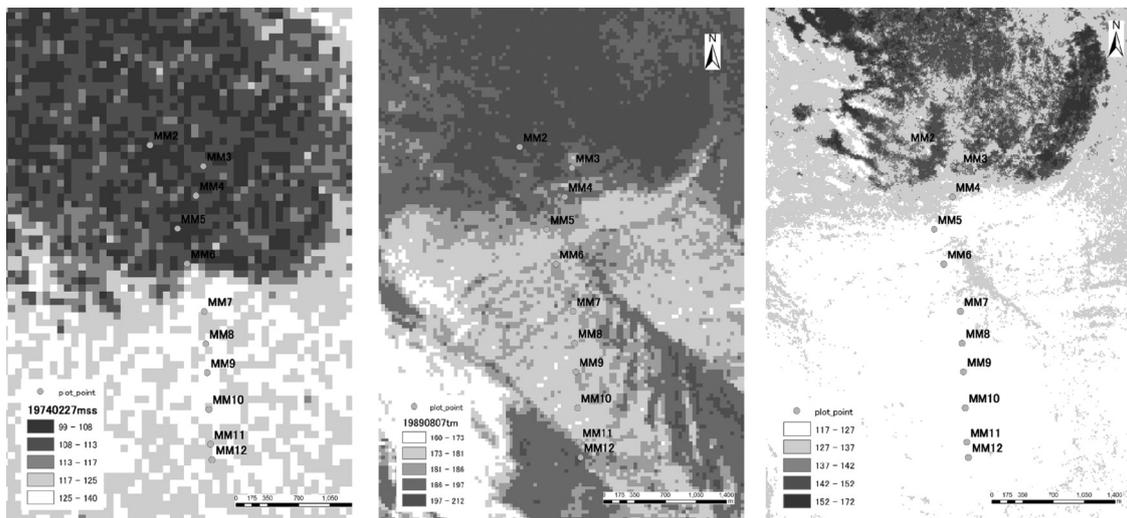


Figure. 6a Vegetation NDVI in Mongonmorit (Left: (a) 27 Feb 1974 (LandsatMSS), Middle: (b) 7 Aug 1989 (LandsatTM), Right: (c) 16 Sep 2006 (ALOS AVNIR-2) and the scale drawing. Black is tree. Point is the sampling site in Mongonmorit.

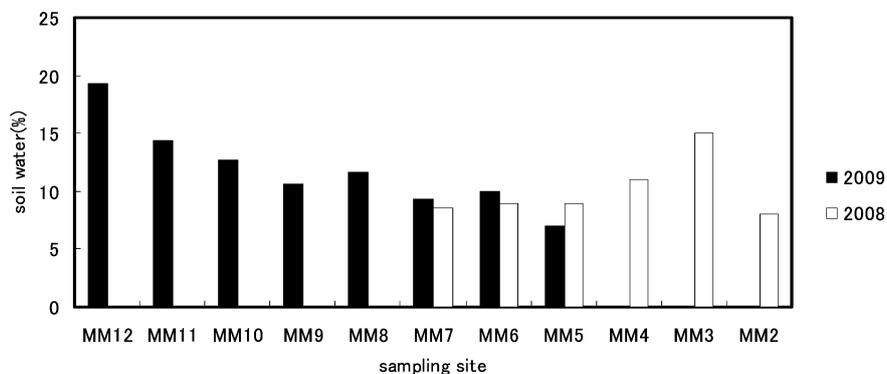


Figure. 7 The spatial distribution of soil water content in Mongonmorit area. White bar and Black bar are water moisture (%) in 2008 and 2009.

示している。MM12からMM5に向けて土壌水分は減少し、MM4, 3の森林限界付近で高くなり、森林内のMM2で再び減少していた。MM12~MM10は平坦な場所にあり河川に近いことから土壌水分は他の場所よりも高くなっていると考えられる。MM9~MM5は斜面上にあり地下に浸透した雨水等は斜面下に向かっていくという微地形の影響により斜面を上るほど土壌水分は低くなったと考えられる。MM4, 3は森林限界付近に位置しているため、森林の水涵養能力により土壌水分は高くなっていると考えられる。MM2は森林内にあり、地表から12cmまでの土壌水分が森林内の林床植物により利用された、または斜面の影響などによりMM3よりも低くなっていると考えられる。

3.5 炭素安定同位体比の分析結果

(1) カラマツの $\delta^{13}\text{C}$ の空間分布

Figure. 8は2008年8月にモンゴンモリット地区において採取したカラマツ (*Larix sibirica*) の $\delta^{13}\text{C}$ 値の空間分布を示している。当年枝の葉の $\delta^{13}\text{C}$ 値は南向き斜面のMM7からMM4に向かい高くなり、森林限界付近のMM3で低くなり、森林内のMM2ではさらに低くなった。つまり、カラマツの水ストレスはMM7からMM4に向けて大きくなり、森林限界付近のMM3で小さくなり、森林内のMM2ではさらに小さくなっている。MM7からMM4に向かい水ストレスが大きくなっているのは微地形の影響により斜面中腹において土壌水分が保持されにくいためであると考えられる。MM4からMM3, MM2に向かい水ストレスが小さくなっているのは森林密度が大きくなるほど水涵養能力により土壌水分が保持されやすいためであると考えられる。先行研究によりカラマツの当年枝の葉の $\delta^{13}\text{C}$ は前年の降水量と関係があることがわかってお

り⁴⁾、2007年は植物の成長期間である5~9月の降水量が211.1mm (table 1)と平年並みに降っているため、今回測定した $\delta^{13}\text{C}$ 値も佐藤氏(2007 MS)⁴⁾の結果と同じ傾向を示していた。

(2) 草本植物の $\delta^{13}\text{C}$ の空間分布

Figure. 9より、MM10からMM5に向けて $\delta^{13}\text{C}$ 値は高くなり、MM4付近でわずかに低くなり、MM2でさらに低くなっている。これはカラマツの $\delta^{13}\text{C}$ と同様に森林限界付近で水ストレスが緩和され、森林内ではさらに小さくなるためであると考えられる。平坦な地形に位置するMM10~MM12の $\delta^{13}\text{C}$ 値は河川に近づくMM10, 11, 12の順に高くなる傾向を示した。MM10~MM12は河川に近くであり土壌水分は十分であることから、水場を求めて移動してくる家畜の影響などの他の要因により土壌の間隙性が低下し、土壌水分保持容量が低下したため、水ストレスが大きくなった可能性がある。

4. ま と め

本研究では、モンゴル国において大部分の森林は夏の平均気温が16°C以下、年平均降水量が300mm以上、永久凍土の存在する場所に主に分布し、調査地のモンゴンモリットにおいて過去32年間で森林限界線が約1km北側へ後退していることがわかった。さらに森林-草原境界域に生息するカラマツ及び草本植物は分布している微地形により利用できる水資源量が異なるため、水ストレス状態も異なっており、斜面中腹に生息する植物は水ストレスを多く受け、森林付近や傾斜の緩やかな場所に生息する植物は水ストレスが少ない傾向にあることがわかった。

以上よりモンゴンモリットでは斜面中腹にカラマツの孤立木が分布しているため、温暖化や乾燥化に

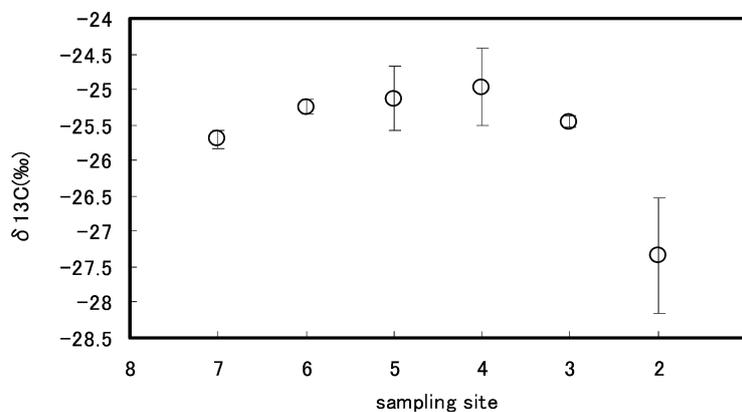


Figure. 8 The spatial distribution of the average $\delta^{13}\text{C}$ and SD of *Larix sibirica* in Mongonmorit

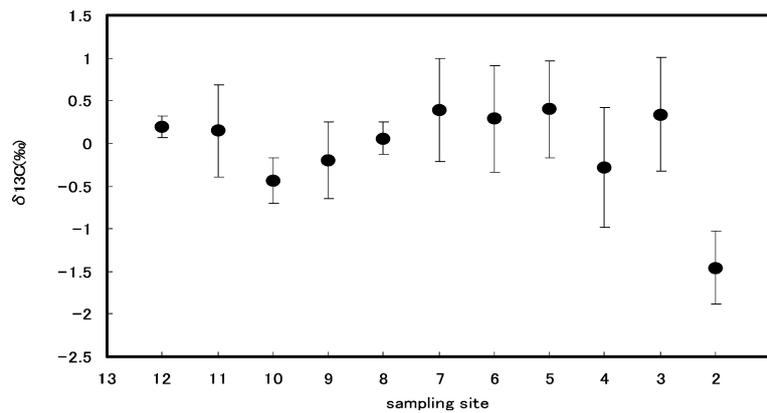


Figure. 9 The mean of the $\delta^{13}\text{C}$ of each grass plant is assumed to be 0, and the spatial distribution of the difference from each mean and the Standard deviation.

より、さらなる気温上昇による降水量の減少や永久凍土の溶解が続き、本研究で示した森林成立条件を満たせない状態が続くと、より強い水ストレスを受け、木が枯れ、森林は北側へ後退していくと考えられる。しかし本研究は調査地点が少なくデータの蓄積も少ない、さらに過去と現在で気象学的森林成立条件が比較できていないこと等、問題点が多くあるため、今後、調査地点や調査データを増やし、森林-草原境界域の環境を調査していく必要や新たなデータの収集が必要であると考えられる。

謝 辞

本研究は科学研究費・基盤研究（S）（代表：嶋田義仁・名古屋大教授）の助成を受けて行ったものである。調査・研究と実験にあたり、ご指導をいただいたモンゴル国立モンゴル農業大学・アリウナ准教授、オユン教授、酪農学園大学特任教授のスマヤ・ガンゾリク博士、心より感謝を申し上げます。

引用文献及び参考文献

- 1) 内埜裕子 (2008 MS)：カラマツの窒素・炭素安定同位体比を用いたモンゴル森林-草原境界の環境指標，北海道大学大学院 環境科学院 修士論文。
- 2) 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第4次評価報告書。
- 3) 坪内俊憲 (2009)：地球規模環境問題のカナリア，変化にさらされるモンゴルの脆弱な環境。環境省。
- 4) 佐藤勇一 (2007 MS)：モンゴル森林-草原境界に生息するカラマツの炭素安定同位体比に関する研究，北海道大学大学院 環境科学院 修士論文。
- 5) 杉田倫明 (2003)：水循環プロセスと生態系との係わり。科学，5，559-562。
- 6) 長澤良太・原慶太郎・金子正美編者：自然環境解析のためのリモートセンシング・GISハンドブック，古今書院，2007年11月2日発行。
- 7) 藤田昇 (2003)：草原植生の生態と遊牧地の持続的利用。科学，5，563-569。
- 8) Batina. P. (2000): Climate Change And Its Impacts In Mongolia. Ulaanbaatar.
- 9) Farquhar. G.D., Leary. O.M.H., Berry. J.A. (1982): On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. Australian Journal of plant physiology. 9: 121.
- 10) international forest fire news (IFFN) No. 36 (January-June 2007, 46-66), UNITED NATIONS (New York and Geneva 2008), ISSN 1029-0864 (web).
- 11) Jindrich Kynicky, Martin Brtnicky, Dusan Vavricek, Radka Bartosova, Uondon Majigsuren (2009): Permafrost and climate change in Mongolia, MSM621 5648902.
- 12) Leuenberger. M., Borella. S., Stoker. T., Saurer. M., Siegwolf. R., Schweingruber. F., Matyssek. R. (1998): Stable Isotope In Tree Rings As Climate And Stress Indicators Vdf Hochschulverlaf AG an der ETH Zurich.
- 13) McNulty. S.G., Swank W.T. (1995): Wood $\delta^{13}\text{C}$ as a measure of annual basal area growth and water stress in a pinus strobes forest. Ecology, 76(5), 1518-1583.
- 14) Qinxue Wang, M Watanabe, Q Xiao, T Wu, J Liu, O Batkhishig (2009): Early detection of

- the global warming impact on permafrost in East Asia. *Earth and Environmental Science* 6.092026.
- 15) Sugimoto. A., Yanagisawa. N., Naito. D. (2002): Importance of permafrost as a source of water for plants in east Siberian taiga. *Ecological Research* 17, 493-503.
- 16) Sheng-Gong Li, Hugo Romero-Saltos, Maki Tsujimura, Atsuko Sugimoto, Lisa Sasaki, Gombo Davaa, Dambaravjaa Oyunbaatar (2007): Plant water sources in the cold semiarid ecosystem of the upper Kherlen River catchment in Mongolia: A stable isotope approach, *Journal of Hydrology* 333, 109-117.
- 17) 気温・降水量データ：http://latitude.mn/?page_id=3.
- 18) 永久凍土データ.
(National Snow and Ice Data Center) :
<http://nsidc.org/data/ggd648.html>

要 約

モンゴル国は、地球温暖化の影響を受けやすく、これに伴い永久凍土の融解等が起り、植物は水ストレス状況下に置かれ、北方林の後退を引き起こしていると考えられている。これに加え、近年、森林の商業利用の拡大等の人為的影響も増えている。モンゴル国において森林は二酸化炭素の吸収源、地域住民の貴重な木材燃料の供給源や水の涵養地などとして重要な役目を担っており、植生が変化しやすい

場所である森林-草原境界域に生息する植物の状態を把握することは今後の森林の動向を予測する上で非常に重要となってくる。本研究は衛星画像データを用いてモンゴル国における森林限界分布の特定及び調査地モンゴンモリットにおける森林限界の変動の抽出を行った。さらに気象データを用いて森林成立条件を、炭素安定同位体 $\delta^{13}\text{C}$ を用いて森林限界線域に生息する植物の水ストレス状態を調べた。その結果、森林限界はモンゴル国北東部のモンゴンモリットでは北緯 48° 付近に、西部のハンガイ山脈およびアルタイ山脈では北緯 46° 付近に分布し、大部分の森林は夏の平均気温が 16°C 以下、年平均降水量が 300 mm 以上、永久凍土の存在する場所に主に分布している。またモンゴンモリットにおいて過去 32 年間で森林限界線が約 1 km 北側へ後退していることもわかった。さらに森林-草原境界域に生息するカラマツ及び草本植物は分布している微地形により利用できる水資源量が異なるため、水ストレス状態も異なっており、斜面中腹に生息する植物は水ストレスを多く受け、森林限界付近や傾斜の緩やかな場所に生息する植物は水ストレスが少ない傾向にあることがわかった。以上よりモンゴンモリットでは斜面中腹にカラマツの孤立木が分布しているため、温暖化や乾燥化により、さらなる気温上昇による降水量の減少や永久凍土の融解が続き、本研究で出した森林成立条件を満たせない状態が続くと、より強い水ストレスを受け、木が枯れ、森林は北側へ後退していくと予測される。

Abstract

Mongolian inland region shows signs indicating that it is affected regionally by climate change expressed as soil deterioration, cover denudation, decrease in tree coverage in addition to changes in plants density and diversity. Recently in addition to this, the urban impact such as the expansions of commercial use for the forest has increased. The forests are playing an important role in Mongolia, which makes Understanding their state in relation to their ecology is important. Monitoring changes on forest-meadow plants at the forest boundary is also important for assessing changes. Measurements included ground assessment of herbaceous cover based on taking plants height, biomass, density and richness as main variables. Estimating forest ecosystem condition based metrological measurement data and we find the forest limited in summer mean temperature of 16°C or less and annual mean precipitation of 300 mm or more region. In eastern Mongolia, the forest line is distributed in nearly latitude 48°N and in the western Mongolia, the forest line distributed in nearly latitude 46°N. We also estimate the plants water stress in forest boundary line using stable carbon isotope $\delta^{13}\text{C}$. It find the forest received more water stresses and the forest line degraded to north 1-km in the past 32 years in Eastern Mongolia. Remotely sensed assessment focused on change detection method as a mean to assess change in forest cover using NDVI and supervised classification manipulated from Aster, MODIS/Terra and SPOT/vegetation and Landsat MSS, TM5 and ETM+.

Key word: forest line change, Eastern Mongolia, remotely sensed methods.