

ISSN 0918-113X

研 究 報 告

第 15 号

2005. 6

秋田県森林技術センター

目 次

1. 秋田地方のスギ林土壌における温室効果ガスの測定

(農林水産省高度化事業「メタン及び亜酸化窒素の吸収・排出量と施業影響の評価」)

…………… 澤田 智志・石塚 成宏 (森林総研北海道支所)

阪田 匡司・高橋 正通 (森林総研) …………… 1～12

秋田地方のスギ林土壌における温室効果ガスの測定

(農林水産省高度化事業「メタン及び亜酸化窒素の吸収・排出量と施業影響の評価」)

澤田 智志・石塚 成宏 (森林総研北海道支所)

阪田 匡司・高橋 正通 (森林総研)

Measuring of Greenhouse Gas emission from Forest Soils of *Cryptomeria japonica* in Akita.

Satoshi SAWATA・Shigehiro ISHIZUKA・Tadashi SAKATA・Masamichi TAKAHASHI

要 旨

比較的地位の良いスギ85年生林分における連続する斜面上で、皆伐や間伐の施業後の土壌表面からの CO_2 、 CH_4 および N_2O フラックスの観測を行った。 CO_2 に関しては地温と CO_2 フラックスの間に指数関数的な高い相関関係が確認された。 CH_4 は吸収フラックスが観測され、地温との相関は確認されなかった。 N_2O は検出限界に近い放出フラックスが観察されることが多く、地温との相関関係は認められなかった。伐採後のガスフラックスに関して年別の積算値で比較したところ、 CO_2 に関しては伐採区で1年目の放出量が大きく、2年目以降はその差が小さくなる傾向が観察され、 CH_4 に関しては伐採区では1年目は差が無く、2年目以降の吸収量が小さくなる傾向が観察された。 N_2O に関しては伐採後1年目の放出量が多くなり、2年目以降は小さくなる傾向が確認された。

I. はじめに

地球温暖化問題とは、人間の活動に伴って発生する温室効果ガス (Greenhouse Gas) が大気中の濃度を増加させることにより、地球全体の温度が追加的に上昇し、自然の生態系および人類に悪影響を及ぼすものと定義されている (林野庁, 2002)。気象庁の気象観測データによれば定点観測所での二酸化炭素濃度は近年指数関数的に上昇しており、200年前に比べて約30%も増加しているという報告がある。地球が温暖化することによって予測される悪影響としては第一に気温の上昇による海水面の上昇があげられるが、そのほかにも異常気象による被害や、生態系の変化など地球全体に大きな問題となることが指摘されている。

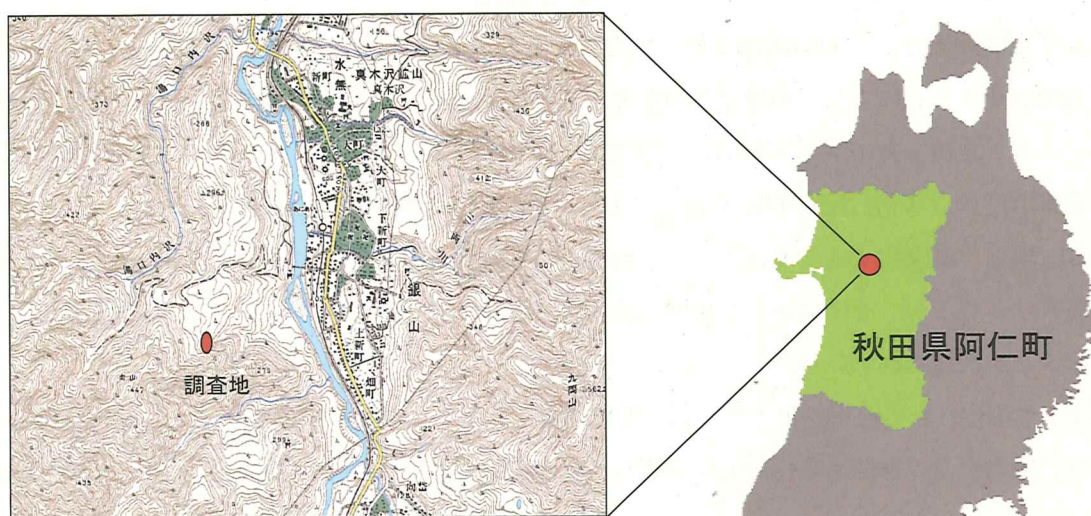
人為により排出される温室効果ガスには二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素など多くの物質があるが、その中で二酸化炭素の地球温暖化に対する寄与率は約60%を占めている (IPCC, 2001)。二酸化炭素に比べて量は少ないものの、メタンは21倍、亜酸化窒素は310倍、フロン類は140~11,700倍の温暖化への寄与度があり、量が少ないからといって無視できるわけではない。メタンは水田、湿地や畜産などから、亜酸化窒素は土壌中の窒素の無機化あるいは脱窒に伴って、たとえば皆伐作業などによって排出される可能性があり、精密な調査が必要である。

森林における温室効果ガスの吸収・排出量の報告については、これまで気候変動枠組条約・京都議定書において二酸化炭素に加え、メタン及び亜酸化窒素についても報告することが義務づけられた。そのため、メタン及び亜酸化窒素の吸収・排出量の計測手法及び実態を把握する必要がある。加えて、京都議定書に対応するためには間伐や皆伐などの人工林の施業影響を評価することが必要である。このため、平成14年度から農林水産省先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「森林・林業・木材産業分野における温暖化防止機能の計測・評価手法の開発」の中で、日本の主要な森林土壌におけるメタンと亜酸化窒素の吸収・排出量と施業影響の評価を行う目的で調査地を秋田県の高齢なスギ人工林に設置し、課題の一部を担当した。

Ⅱ. 試験方法

(1) 試験地の概要

北秋田郡阿仁町銀山水無の林齢85年生（2004年時点）のスギ人工林に試験地を設定し（図－1）、チャンバー等の観測装置を設置した。調査地は砂岩を母材とする谷頭凹地に位置し、斜面方位は東南東、平均傾斜は17°である。冬季の積雪期間は12月中旬～4月中旬の5ヶ月間である。本試験地は本事業が始まる前年から観測が行われてきたが、事業開始の前年度にあたる平成13年11月に上層木の伐採を行い、間伐区（秋田1）、皆伐区（秋田2）、無間伐区（秋田3）の3つの施業区を設定した（図－2）。これらの施業区は同一斜面上に連続して配置されており、Forest Windows (Nobori, 2000) を用いて図－3に示した。チャンバーの配置に関しては、阪田ら（2004）の設計に基づいて配置できたのが皆伐区と無間伐区の2カ所であり、間伐区については前年からガス採取を行っていたため、チャンバーを移動させることなく観測を継続した。



図－1 調査地位置図



図-2 調査地の概要



図-3 立木およびチャンバーの位置図

(2) 試料採取の方法

フラックス測定用ガスは阪田の方法（阪田，1999）を用いて採取した。ガス採取容器（以下，チャンバー）には内径40cm，高さ15cmのステンレス製円筒を用いた（図-4）。地表面から約5cmの深さまでこのチャンバーを差し込み，その後放置した。フラックス測定の際にはこのチャンバーにポリ塩化ビニール製の蓋をして，内部のガスを採取した。この蓋に2つの穴を開け，1つにはビニールチューブを接続したサンプリングバック（テドラーバック，GLサイエンス製）にあらかじめ採取量と同程度の大気を入れたものを差し込み，ガス採取時に土壌からチャンバーへのマスフローを最小限に抑えるための圧力調整を行った。もう1つの穴にはシリコンのセプタム（ガスクロ注入口パッキン，島津）を差し込み，このセプタムに注射針を突き刺してサンプリングを行った。チャンバーの蓋を閉めた直後にサンプルを採取し，その後10分，20分，40分後にそれぞれガスを採取した。ガスの採取には三方コック（トップ三方活栓R型，トップ化成）と50mLのデイスポーサブルシリンジを図-5の様に加工したものを使用した。採取したガスはあらかじめ凍結乾燥機（東京理化，FD-5Nに密閉式ドライチャンバー BSC-2を取り付けたもの）を用いて真空状態（10Pa以下）にした真空バイアルビン（日立理化製 SVG-30とマルエム製ブチルゴム栓 NO.20-Tを使用）にデイスポーサブルシリンジ中のサ

サンプルを大気圧より加圧状態になるように封入し、ガス分析を担当する森林総合研究所北海道支所まで送付した。

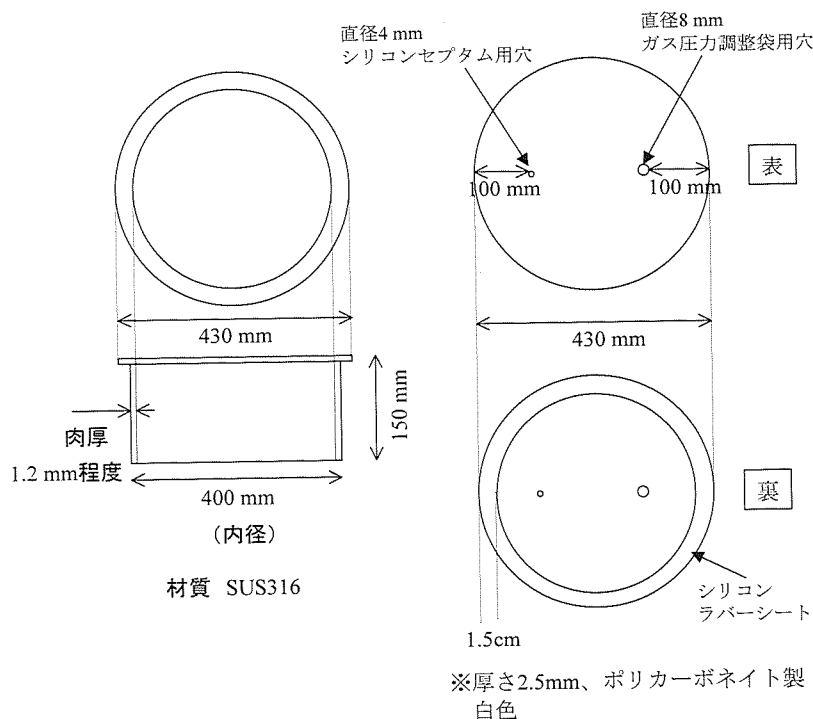


図-4 チャンバー形状（左）とチャンバー蓋形状（右）
（石塚，2002より引用）

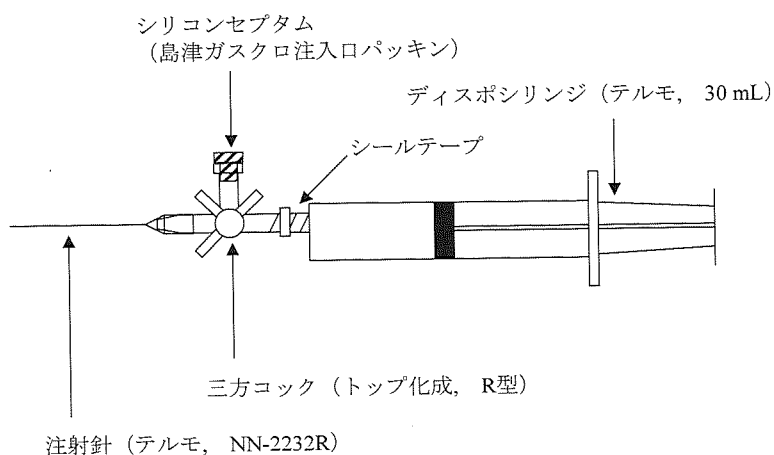


図-5 ガス採取容器（石塚，2002から引用）

ガス採取時における土壌の水分状態を測定するため、表層部の土壌を100ccの円筒で採取し、実験室に持ち帰った。各試験区のフラックス観測時の土壌温度（深さ0～20cm）を貫入式温度計で測定するとともに、表層土壌（2.5-7.5cm）を100mL採土円筒にて3連採取し、土壌水分量をガスフラックス測定時毎測定した。また、深さ5cmの土壌温度（ウイジンUIZ3633）および土壌水分（ウイジンUIZ-ECH20）を1時間間隔で連続測定した。その他、表層土壌の炭素および窒素含量、表層土壌の容積重、落葉期後の堆積有機物層量、毎木状況（胸高直径、樹高、本数）についても調査を行った。

(3) 分析方法

土壌円筒試料は持ち帰った後、重量を測定した後105℃で乾燥させて乾燥重を測定し、ガス採取時の水分含有量を求めた。ガス分析は森林総合研究所北海道支所で行った。二酸化炭素およびメタンはTCD/FID ガスクロマトグラフ（島津，GC-14B）を用いて分析し、カラムの充填材にはUnibeads C（長さ2 m，内径2 mm）を用いた。カラムの温度は80℃，検出器温度は120℃，キャリアーガスはヘリウムを用い，流量は約50mL min⁻¹とした。分析には精度をあげるために5 mLの定量管を用いた（島津，ガスサンプラー MGS-5）。N₂Oの分析にはECD ガスクロマトグラフ（島津，GC-14B）を用いた。カラムはPorapak N（長さ2 m，内径2 mm）で主分離を行い，N₂O以外の成分を排除するプレカットシステムを使用した。カラムの温度は50℃，検出器温度は340℃，キャリアーガスはCH₄を5%含むアルゴンを用い，流量は約16mL min⁻¹とした。

(4) フラックスの計算方法

一定間隔のサンプリングで3点のガス濃度測定を行うことによりフラックス値を求める式（Sakata et.al,2004）を用いてフラックスの算出を行った。

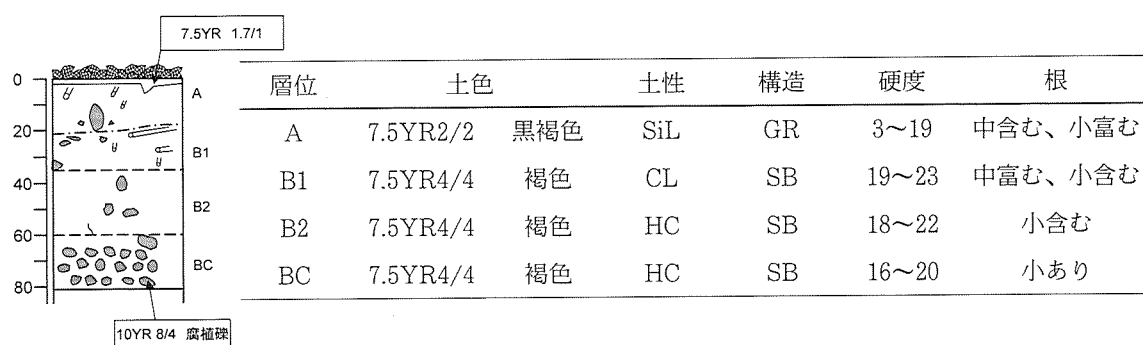
Ⅲ. 結果と考察

(1) 調査林分の概要

調査林分の概要を表－1に示した。各調査区の平均樹高は31.7～34.1mであり，高齢級に対応した秋田地方収穫表（澤田，2004）の地位Ⅱに相当し，比較的成長の良い林分となっている。平均胸高直径は42.2～47.9cm，伐採前のha当たり本数は370～412本で収量比数は約0.7の中庸な密度の林分である。調査地の土壌断面の概要を図－6に示した。土壌は黒褐色のA層が20cm程度堆積し，その下に褐色のB層が続いており，BD型土壌となっているが，場所により20cm以上の黒色土壌が混在している。本調査地の土壌表層部の化学性は石塚（2002）によれば，pHは5.0前後の酸性であり，0～15cm深の全炭素量は6.7～30.0%，全窒素量は0.39～1.25%，CN比は17.2～24.0となっている。

表－1 調査林分の概要

	No. 1	No. 2	No. 3
林種	間伐区	皆伐区 (伐採前)	無間伐区
平均樹高	31.7	33.3	34.1
平均直径	42.2	45.1	47.9
本数・ha	—	412	370
幹材積	—	975	1,091
収量比数	—	0.71	0.68
地位	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ



図－6 調査地土壌の概要

(2) 土壌温度と土壌水分

本研究で採用したクロズドチャンバー法では、ガスフラックスの測定について連続観測は不可能であり、月1回程度の観測を行った。そのため年間を通してのフラックス量を推定するためには、通年観測が可能な要因、たとえば温度や水分状態などとの相関関係があるのかどうかについて検討する必要がある。図－7には各試験区における平成16年の気温、ガス採取時に貫入式温度計で計測した深さ別温度および通年観測を行った地温センサーの測定値を比較した。図に示したように皆伐区の方が無間伐区などに比べて気温の季節的変化が大きく、地表0 cmの温度は気温と同じ程度に変動する傾向にあり、深さ5 cm以下に関しては地表に近いほど温度変化が大きい傾向にあった。地温センサーは深さ5 cm深に1箇所設置したものの、若干各試験区での同じ深さの観測値の平均値より低い傾向となっていた。本研究では通年観測できる土壌水分センサーを設置したが、図－8に示したように水分センサーの近傍で採取した土壌円筒の含水率との間に相関関係は認められなかった。これは、調査地のような微地形が変化するような場所では含水率の不均一性が高く、異なる地点での円筒試料によって得られる含水率の変化によって時系列変化とすることは困難であることが原因と考えられる。したがって、森林でこのようなセンサーを使用する場合は含水率の絶対値よりも時系列変化の影響を受けているものと判断される。

(3) CO₂フラックスの季節変動と年変動

土壌からのCO₂フラックスは、主として生物活動に由来し、土壌微生物や植物根などの量およびその性質と土壌有機物や堆積有機物などの基質の量とその性質によって決まるとされている（阪田ら，2004）。このCO₂フラックスに関しては、一般的に地温や土壌水分との相関があることが知られているが、我が国においては土壌水分よりも地温との相関が高く、両者の間には指数関数的な関係が報告されている（例えば、下野ら，1989，島田ら，1998）。図－9は各試験区別のCO₂フラックスと地温（5 cm深）との関係を表したものであるが、阿仁の全ての試験区においても両者の間には指数関数的な関係が認められ、重相関係数で0.7以上の高い相関が認められた。4年間の観測地の季節変動を図－10に示した。CO₂のフラックスはいずれの観測年においても気温の高くなる夏に大きくなり、春と秋には少なく、夏期のフラックスは春期や秋期の4倍程度となっていた。2001年の施業後のフラックスの変化については、皆伐区や間伐区と無間伐区との明らかな差は認められず、2003年のように冷夏の

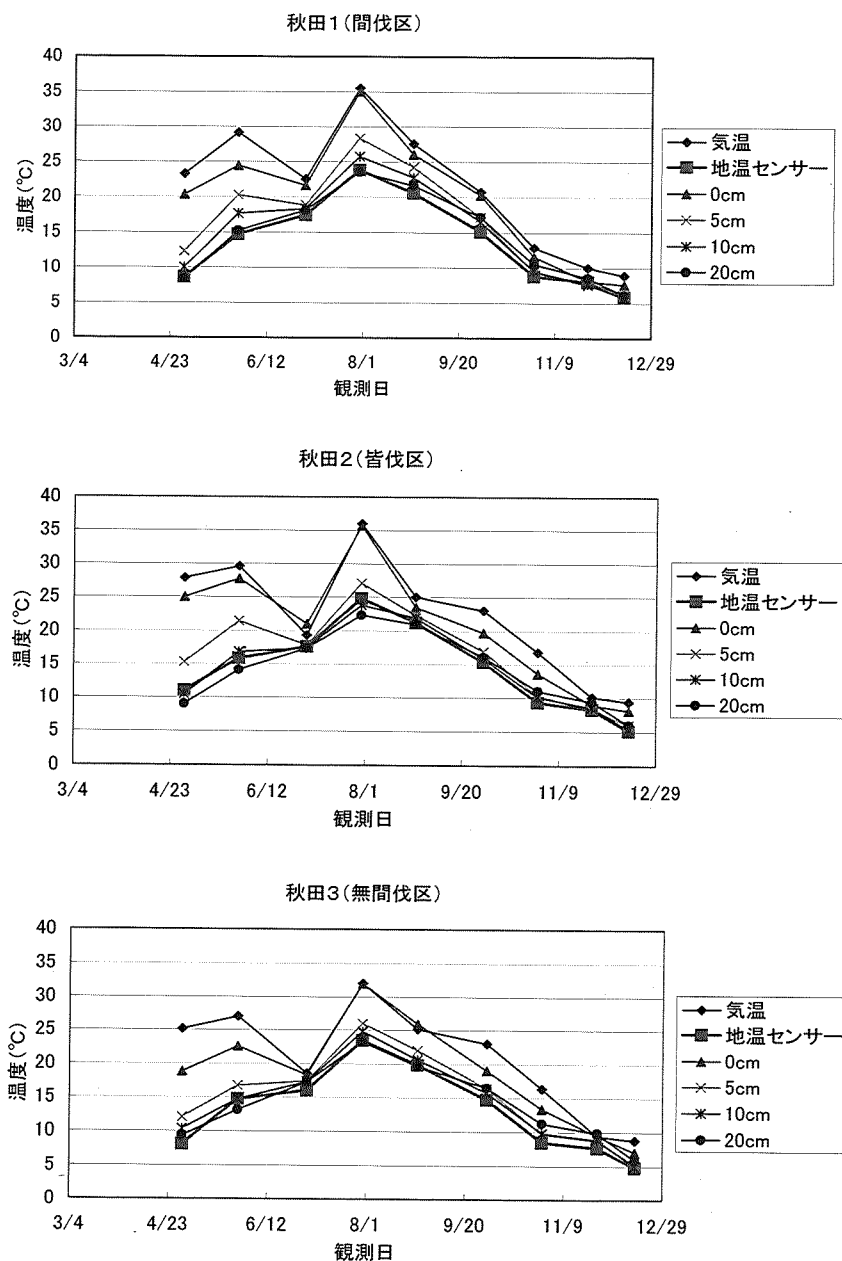


図-7 平成16年ガス採取時の気温と地温の観測値

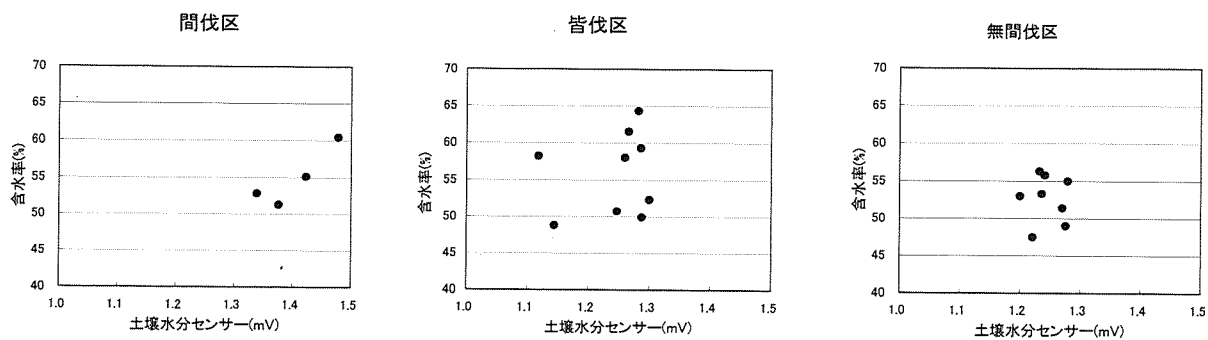


図-8 平成16年土壌水分センサー観測値と土壌含水率の関係

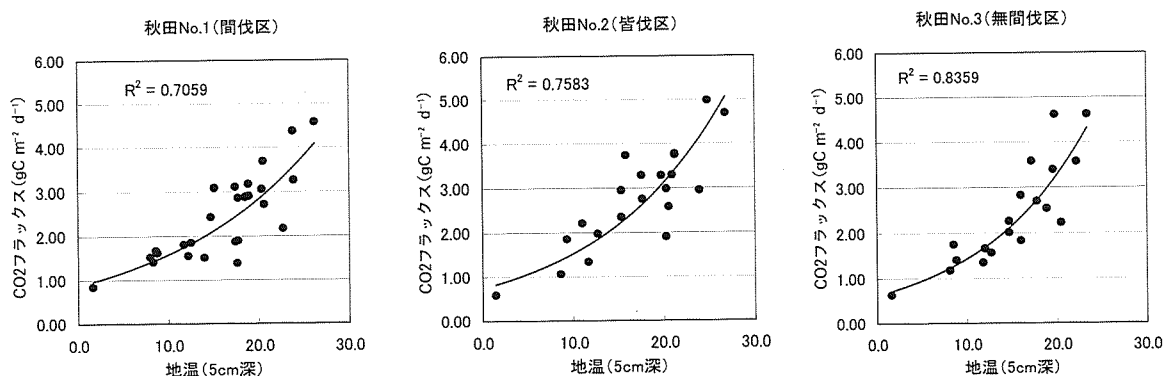


図-9 地温と二酸化炭素フラックスの関係

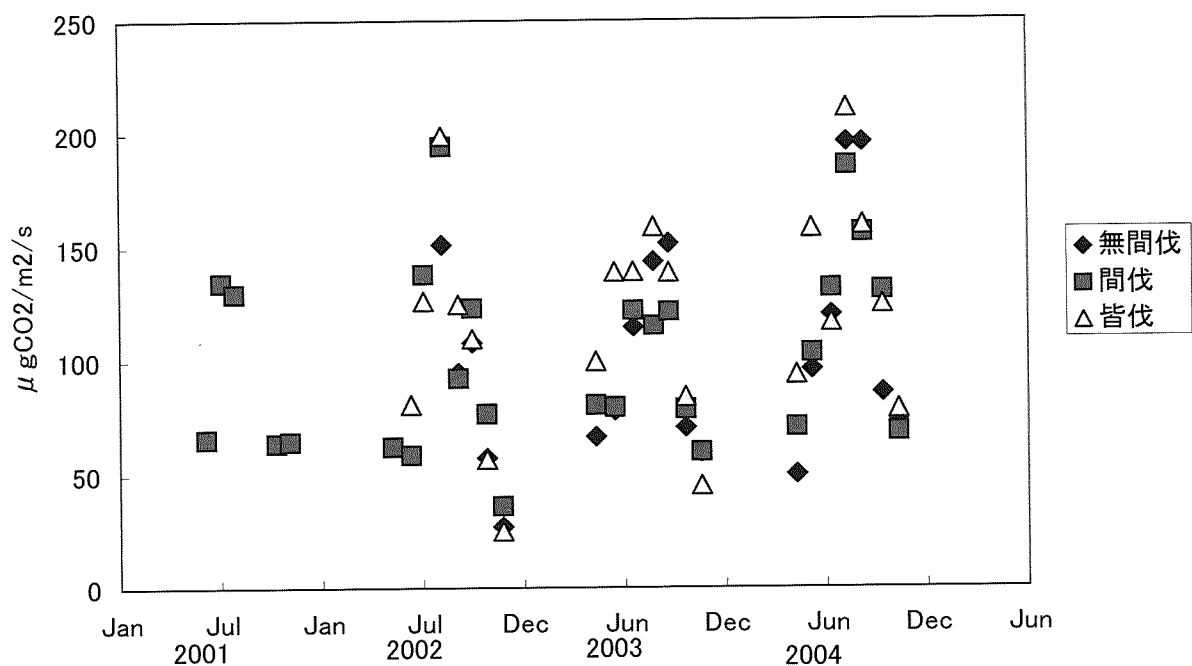


図-10 二酸化炭素フラックスの季節変動 (2001～2004年)

年の場合はフラックスがあまり高くないという年々変動の方が大きかった。このように、森林を伐採しても、3年間の観測では放出される CO_2 フラックスのピーク値には明らかな違いが認められなかった。なお、夏期に観測された地表面からの CO_2 フラックスのピーク値は $200 \mu\text{gCO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 前後であった。

(4) CH_4 フラックスの季節変動と年変動

森林土壌中では一般的に酸素が十分であるため、メタン酸化菌によってメタンは分解され、地表面ではあたかも大気中のメタンが吸収されているように観測されると言われている（石塚ら，2004）。図-11に示したように、阿仁試験区においてもいずれの施業区でも CH_4 フラックスは $-2.0 \sim -0.5 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ の範囲にあり、 CH_4 を吸収しシンクとなっていることが明らかとなった。地温と CH_4 フラックスとの関係については、図からもわかるように $-1.5 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ を超えるような高い吸収フラックスは地温 15°C 以上でないと観測されなかったものの、明瞭ではなかった。2001年から観測した CH_4 フラックスの季節変動に関しては、図-12に示したように、夏期に吸収量が大きくなり、春期と終期で少なくなる傾向が観測されたものの、2003年の冷夏の年には8月の吸収量が6月などに比べて低くなるという現象も観察された。施業後の CH_4 フラックスの変化については、間伐区のように間伐経過後2年目から吸収量が大きくなる傾向が観察されたものの、施業区間で比較した場合、各施業区で明らかな差は認められなかった。高橋ら（2004）は全国の観測を通して CH_4 フラックスと土壌型との間に、土壌が湿潤になるほど CH_4 吸収フラックスは小さくなる傾向があることを指摘しており、今後は土壌へのガス拡散などについて詳細な調査を行う必要がある。

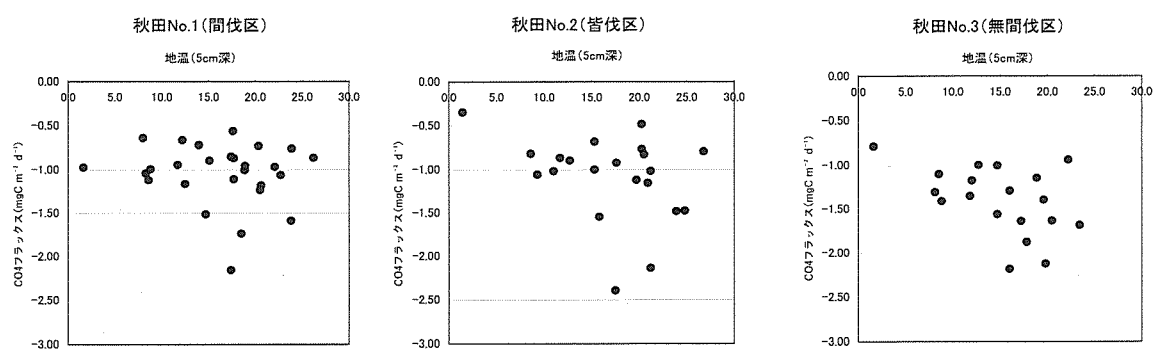


図-11 地温とメタンフラックスの関係

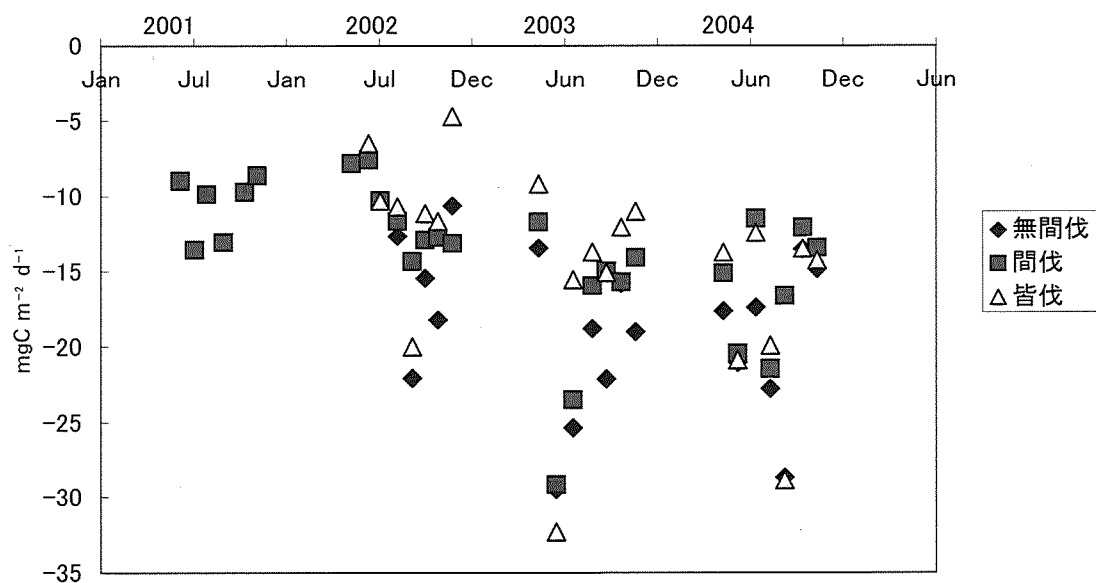


図-12 メタンフラックスの季節変動（2001～2004年）

(5) N_2O フラックスの季節変動と年変動

N_2O に関しては、土壌中のアンモニウムイオンが硝化や脱窒を経て、ガス態の窒素にまで還元される過程でそのロスとして N_2O が発生するとされ、この生成された N_2O は脱窒の過程において N_2 まで還元されうるものであり、 N_2O の生成メカニズムを複雑にしている。我が国における森林土壌の N_2O 生成に関する研究例は少ないが、熱帯雨林では重要な発生源だと指摘されている（石塚ら 2004）。本調査区の N_2O フラックスと地温の関係を図-13にまとめた。いずれの試験区においても、 $50 \mu gNm^{-2}d^{-1}$ 以下のフラックスの検出限界以下の値になることが多かった。地温が高いほど高いフラックスが観測された時もあったものの、その傾向は一定ではなく、明瞭な関係は認められなかった。 N_2O フラックスの季節変動に関しては、秋期以降は低くなるものの、春期も夏期と同様に高い観測年もあった。冷夏だった2003年は N_2O フラックスがやや低かった。 N_2O に関しては、多くの観測値は検出限界に近く、本調査地の森林土壌は N_2O を微量にしか放出していなかったものと判断される。

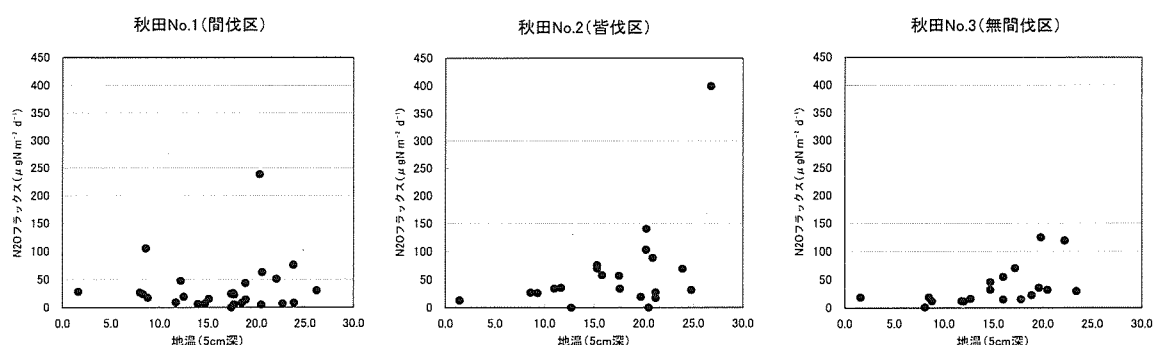


図-13 地温と亜酸化窒素フラックスの関係

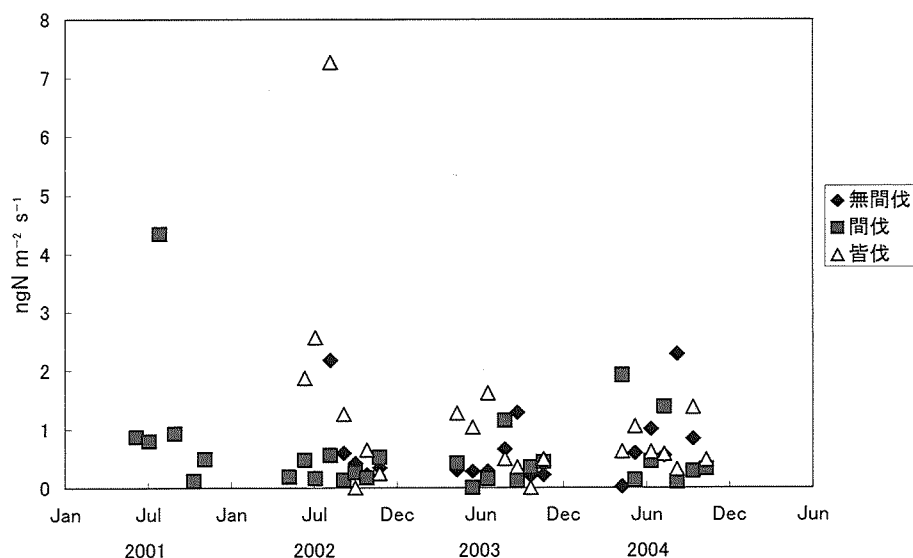
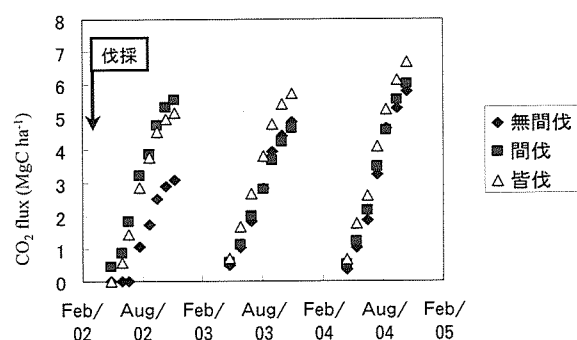


図-14 亜酸化窒素フラックスの季節変動（2001～2004年）

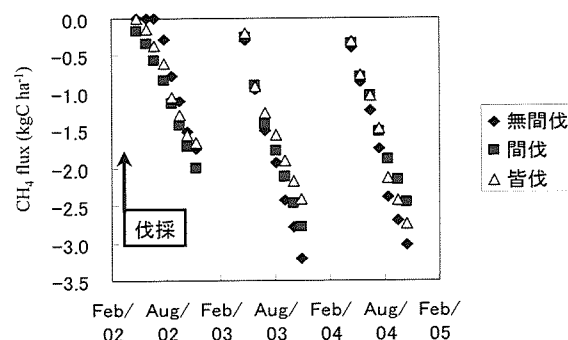
(6) 伐採後の積算ガスフラックスの変化

伐採後3年間の施業区別の年別積算値を図-15～17に示した。CO₂については図-15に示したように、伐採後1年目で無間伐区と比べて間伐区と皆伐区が約1.7倍の放出量となっていた。2年目以降は皆伐区だけは1.15～1.18倍とやや高い傾向が観測された。CH₄については図-16に示したように、伐採後2年目に皆伐区の吸収フラックスが無間伐区に比べて0.76倍と小さくなっていた。3年目にはこの差は小さくなったものの、間伐区では逆に0.81倍と2年目より差が大きくなっていた。いずれにしてもCH₄吸収量の積算値は伐採を行った調査区では低くなる傾向にあった。N₂Oに関しては、伐採後の1年目における積算放出量は皆伐区が無間伐区の3.7倍と最も高かったものの、間伐区は無間伐区に比べて低くなっていた。2年目も皆伐区は無間伐区の1.63倍とやや高くなり、3年目ではこのような傾向は認められなかった。このように、N₂Oに関しては伐採翌年の放出量が大きく、その後は安定することが予測された。



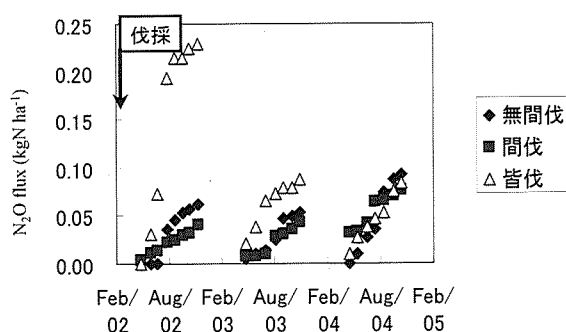
	1年目	2年目	3年目
無間伐	1	1	1
間伐	1.78	0.96	1.04
皆伐	1.65	1.18	1.15

(無間伐の年間積算値を1としたとき)



	1年目	2年目	3年目
無間伐	1	1	1
間伐	1.14	0.87	0.81
皆伐	0.95	0.76	0.91

(無間伐の年間積算値を1としたとき)

図-15 伐採影響の積算ガスフラックス (CO₂) 図-16 伐採影響の積算ガスフラックス (CH₄)

	1年目	2年目	3年目
無間伐	1	1	1
間伐	0.65	0.82	0.82
皆伐	3.70	1.63	0.90

(無間伐の年間積算値を1としたとき)

図-17 伐採影響の積算ガスフラックス (N₂O)

本研究は農林水産省の先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「森林・林業・木材産業分野における温暖化防止機能の計測・評価手法の開発」の一部として取り組んだものであり、研究を進めるにあたって、秋田県森林総合研究所養分環境研究室森下智陽博士には有益な助言を頂いた。秋田県古河林業阿仁林業所には貴重な試験地を提供していただいた。秋田県古河林業阿仁林業所所長福森卓氏および阿仁林業所の皆さんには調査ご協力を頂いた。最後に秋田県森林技術センター森林環境部長三浦義之氏、同主任研究員金子智紀氏には貴重な助言およびご協力を頂いた。これらのご指導およびご協力に対し、ここに深く謝意を表する。

引用文献

- (1) IPCC (2001) The Forcing Agents That Cause Climate Change 2001 The Scientific Basis, p36-46
- (2) 石塚成宏 (2002) 森林土壌におけるメタンおよび N_2O フラックスに関する研究, 東京大学学位論文, pp118
- (3) 石塚成宏・田中永晴・阪田匡司・高橋正通 (2004) 森林土壌におけるメタン・ N_2O フラックスの制御要因と今後の課題, 日林学術講演, 115, 286
- (4) 阪田匡司 (1999) 地表面のガスフラックス, 森林立地調査法, 森林立地調査法編集委員会編, 209-211, 博友社
- (5) 阪田匡司・高橋正通・石塚成宏・溝口岳男・稲垣義之・寺澤和彦・澤田智志・五十嵐正徳・安田洋・小山泰弘・鈴木祥仁・豊田信行・室雅道・町田誠司・山本博一・芦谷大太郎・橋本哲・金澤洋一・馬田英隆 (2004) 日本の森林土壌における CO_2 フラックスと立地特性, 日林学術講演, 115, 297
- (6) Sakata Tadashi・Ishizuka Shigehiro・Takahashi Masamichi (2004) A Method for Measuring Fluxes of Greenhouse Gases from Forest Soils, Bulletin of FFPRI, Vol.3, No.3, 259-265
- (7) 澤田智志 (2004) 長期育成循環施業に対応する森林管理技術の開発, 秋田県森林技術センター研究報告, 13, 65~88
- (8) 島田博匡・戸田浩人・生原喜久雄・小池孝良 (1998) 森林土壌における斜面位置, 深さ別のガス拡散係数の特徴および CO_2 フラックス, 森林立地40(1), 1-8
- (9) 下野竜志・武田博清・岩坪五郎・堤利夫 (1989) スギとヒノキ人工林における土壌呼吸の季節変化, 京大演報61, 49-56
- (10) 高橋正通・阪田匡司・石塚成宏・溝口岳男・稲垣義之・寺澤和彦・澤田智志・五十嵐正徳・安田洋・小山泰弘・鈴木祥仁・豊田信行・室雅道・町田誠司・山本博一・芦谷大太郎・橋本哲・金澤洋一・馬田英隆 (2004) 日本の森林土壌における CH_4 ・ N_2O フラックスと立地特性, 日林学術講演, 115, 287
- (11) Yoshihiro Nobori (2000) Forest Windows, pp100, Japan Society of Forest Planning Press
- (12) 林野庁 (2002) 平成13年度炭素吸収源データ収集システム開発事業報告書, pp181

研 究 報 告（第15号）

平成17年6月発行

編 集 編集委員長 高橋 正治
編 集 委 員 近藤吉久，三浦義之，伊藤精二
金子智紀（委員は平成17年3月31日現在）

発 行 秋田県秋田市河辺戸島字井戸尻台47-2
秋 田 県 森 林 技 術 セ ン タ ー

郵便番号 019-2611

TEL 018-882-4511

FAX 018-882-4443

URL <http://www.pref.akita.jp/morigi/index.htm>

e-mail: forest-c@pref.akita.lg.jp

印 刷 株式会社 三 戸 印 刷 所



古紙配合率100%再生紙を使用しています

この印刷物は200部印刷し，一冊あたりの経費は861円です。

BULLETIN
of
THE AKITA PREFECTURE FOREST TECHNOLOGY CENTER

No.15 2005. 6

Measuring of Greenhouse Gas emission from Forest Soils of
Cryptomeria japonica in Akita.

Satoshi SAWATA • Shigehiro ISHIZUKA

Tadashi SAKATA • Masamichi TAKAHASHI 1 ~ 12