

アカマツ林の土壌表面における温室効果ガスの吸排出

—メタンおよび亜酸化窒素の吸収・排出量と施業影響の評価—

小山泰弘

アカマツ二次林内で地表面における温室効果ガス（二酸化炭素・メタン・亜酸化窒素）の吸排出量を測定した。二酸化炭素は、年間を通じて土壌表面から排出されていたが、季節による大きな変動が見られた。メタンは年間を通じて森林土壌に吸収されており、その量は $-49.8 \sim -88.3 \text{ ngCH}_4/\text{m}^2/\text{s}$ であった。亜酸化窒素は、ごく微量が排出されている程度と判断できた。

アカマツ二次林内で間伐を行い、間伐後1年半にわたって温室効果ガスの吸排出量の変化を調べたところ、二酸化炭素の排出量は減少したが、メタン及び亜酸化窒素の吸排出量には変化がなかった。

キーワード：二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素、温室効果ガス、間伐施業

第1章 研究の目的

地球温暖化は、人間の活動に伴って発生する温室効果ガスの大気中濃度増加が原因とされ、地球規模で深刻な問題となっている。

人間活動に伴って排出される温室効果ガスは、主に二酸化炭素(CO_2)、メタン(CH_4)、亜酸化窒素(N_2O)、代替フロン2種類(HFC及びPFC)、絶縁材として使われる6フッ化硫黄の6種類であり、中でも二酸化炭素の排出量が最も問題とされている(環境省2005)。しかし、二酸化炭素を基準とした温室効果ガスの地球温暖化への影響力を示す地球温暖化係数で比較すると、メタンは二酸化炭素の21倍、亜酸化窒素は310倍、フロン等は140~11,700倍(地球温暖化対策の推進に関する法律 施行令第四条)とされ、地球温暖化への影響力は無視できない。特に二酸化炭素及びメタン、亜酸化窒素の3種類は、自然界からも発生する(陽1994)が、日本の森林では調査事例が少なく未解明な点が多い。

1997年に開催された気候変動枠組条約第3回締約国会議で採択された京都議定書では、温室効果ガスの吸排出量を報告する義務が定められた。これにより、日本の森林でも温室効果ガスの吸排出量の測定と、森林施業による影響を検討する必要性が生じた。そこで、全国の代表的な森林土壌を対象とした調査が行われることとなり、本県もその一部を実施した。

なお本研究は、平成14年から16年まで実施した「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」(農林水産省公募型試験研究制度「先端技術を活用した農林水産研究高度化事業」課題番号1408)によるもので、(独)森林総合研究所が中核機関となって6大学9道県林業関係試験研究機関が参画し、北海道から沖縄

までの49地点で調査を行った。

本報告の一部については、長野県環境科学技術研究発表会(小山2003、小山2004)で発表した。また本事業全体の調査結果については、一部が報告されている(阪田ほか2004、阪田ほか2005、高橋ほか2004、森下ほか2005)ほか、森林総合研究所のホームページでも紹介されている(注1)。

第2章 研究の方法

2.1 試験区の概要

長野県塩尻市片丘にある長野県林業総合センター構内に成立する50年生アカマツ二次林に、隣接する2つの試験区(以下長野1・2とする)を設定した(表-1)。試験区は28m四方の方形区とし、平成14年8月にチャンバー等の観測装置を設置し、平成14年9月から温室効果ガスの観測を開始した。森林施業による温室効果ガスの変化を調査するため、期間の中間に当たる平成15年9月26日に本数間伐率40%の定性間伐を長野2で実施し、長野1は無間伐とした。

2.2 温室効果ガスの採取

温室効果ガスの採取は、阪田の方法(阪田1999)により、試験区内に据え置いた円筒型ステンレスチャンバー(直径40cm×高さ15cm)(以下チャンバーとする)をプラスチック製のふたで密閉し内部のガスを採取した(図-1)。チャンバーは試験区のほぼ中心付近の5箇所、鉦質土壌中に5cm差し込んで固定した。温室効果ガスの採取は、平成14年9月18日から平成17年3月15日までの間、毎月中旬頃に、長野1と長野2とも同一日に実施した。なお冬期間は、一部積雪等の影響で採取出来なかった。採取は、日中の午前10時から12時の間とし、チャンバーの密閉直後と、10分後、

20分後、40分後の4回行った。ガスは注射器により、1回に40mlずつ採取して真空バイアル瓶に封入した。封入したガス試料は、分析のため森林総合研究所へ送付した。森林総合研究所では、ガスクロマトグラフを用い、二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素の各濃度を測定し、経過時間ごとの濃度変化からガスフラックスを算出した(Sakata et. al. 2004)。

なお、温室効果ガスの採取時には、地温(°C)・気温(°C)・土壌水分(mv)を記録した。地温・気温・土壌水分の測定は、各試験区のほぼ中央部の1カ所で行った。地温は、地下5cmの深さに埋設した温度センサー(ウイジン UIZ3633)で、気温は地表1.5mに設置した温度センサー(ティアンドデイ TR-72S)で、土壌水分は地下5cmの深さに埋設した土壌水分センサー(ウイジン UIZ-ECH20)を用いて観測した。

2.3 森林環境の測定

試験区を設定した森林は表-2のとおりである。試験区内の立木成長状況を把握するため、試験区を設定した平成14年8月と、調査終了年度の平成16年12月に毎木調査を実施した。

さらに土壌表面に堆積するAo層の量を測定するため、毎年秋に各試験区から4カ所ずつAo層を50cm四方で採取し、70°Cで48時間以上乾燥させて乾燥重量を測定した。なお、Ao層に堆積するリターフォール量と落下時期を把握するため、平成16年度に、開口部1m²の円形リタートラップ(以下リタートラップとする)を地上1mの高さに据え置いた。リタートラップは、長野1の試験区内に5器設置し、毎月の温室効果ガス測定にあわせて内容物を収集した。収集した内容物は、70°Cで48時間以上乾燥させた上で分類して乾燥重量を測定した。収集したリタートラップ内容物は、アカマツとそれ以外に分けた上で、アカマツについては繁殖器官(花・球果)、落葉、枝、樹皮の4つに区分した。林分のリターフォール量は、5器のリタートラップから収集された量の平均値を単位面積あたりの乾燥重量として整理した。

第3章 結果及び考察

3.1 温室効果ガスの吸排出傾向

二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素の測定結果について、平成16年9月16日に長野1で測定された例を示す(図-2~4)。図中のA~Eはそれぞ

れのチャンバーを示しており、長野1における5つのチャンバーごとの濃度変化を示している。

二酸化炭素は、図-2のようにA~Eまでのすべてのチャンバーで、密閉後の時間が長くなるにつれて濃度上昇が認められており、土壌中から排出され続けていることがわかった。

メタンは、いずれのチャンバーでも時間とともに濃度が低下しており(図-3)、森林土壌へ吸収されていた。土壌中のメタンは、嫌気条件下で生成が進行するのに対して、好気条件下ではメタン酸化菌の働きによって酸化分解する(陽1994)ことから、比較的乾燥した環境に位置する当地のアカマツ林では、メタンは吸収されているといえた。

亜酸化窒素は、図-4のように全体としては時間の経過とともに濃度が上昇する傾向が見られ、土壌中から排出している傾向が認められたが、Aのように一時的に上昇したもののその後やや減少する傾向を示すものや、Bのように上下動が見られるなど、チャンバーごとに一定の傾向を示さなかった。

3.2 温室効果ガス吸排出量の年変動

平成14年9月から平成17年3月までの二酸化炭素、メタン及び亜酸化窒素の吸排出量を図-5~7に示す。また、温室効果ガス採取時に測定した気温・地温・土壌水分の推移を図-8~10に示す。二酸化炭素は、図-5のように年変動が大きく、夏に排出量が多かったが、冬にはほとんど排出されていなかった。これは全国的にも同様の傾向を示していた(阪田ほか2004)。土壌中の二酸化炭素は、植物による根呼吸や土壌微生物活動によって発生することが知られており(陽1994)、土壌中の生物活動は地温と関わりがあると考えられる。そこで二酸化炭素の排出量と地温の関係を確認したところ高い相関が認められ(図-11)、落葉以下の生物活動によって土壌表面から二酸化炭素が排出されていると判断できた。

メタンは図-6のとおり、年間を通じて排出量がマイナスとなり、森林土壌に吸収されていた。吸収量は-49.8~-88.3ngCH₄/m²/sであった。吸収量は夏に多く、冬に少ない傾向となったが、冬にも一定量が吸収されていた。メタンについても地温との関係を確認したが、相関は認められなかった。全国的にも見てもメタンは、ほとんどの森林土壌で吸収されていたが、地温との関係は明瞭とはいえず(高橋ほか2004)、本県と同様の傾向で

あった。

亜酸化窒素は図-7のとおり、排出量はごく微量で、時折観測される程度であった。月ごとの排出量は $-0.4 \sim 2.4 \text{ ngN}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$ と分析され、ごく微量が排出されている程度だった。この傾向は全国的にも同様といえた(高橋ほか2004)。なお、本県では対象としていないが、スギ林では他の森林に比べて排出量が多い(森下ほか2005)ことが指摘された。これまで森林土壌は亜酸化窒素の排出源とされていたが、一部を除いて日本の森林土壌では亜酸化窒素の排出量はごく少ないといえた。

3.3 試験区の森林環境

調査開始前後の毎木調査結果を表-3に示す。長野2では、本数間伐率で40%の間伐を行った。間伐にあたって、形状比の高い木や形質の悪い不良木を中心に選木し、材積間伐率は25%だった。それぞれの試験区ごとの成長量を見るため、試験区ごとの胸高直径階別ヒストグラムを図-12にまとめた。間伐を行った長野2では、胸高直径の小さな個体を中心に伐採が行われ、平均直径は大きくなった。しかし、残存木の成長率を見ると(表-4)無施業の長野1との間に、大きな差が認められなかった。

毎年秋に測定した落葉層の堆積量は図-13のとおりで、間伐によって落葉量が急激に減少するといったことは観察されなかった。

また平成16年度に行ったリターフォール調査結果を図-14に示す。リターの落下は年間を通じて認められたが、落葉のピークは10月後半から11月前半の秋の1ヶ月間で年間落葉量の約半分が落下した。平成16年度の年間落下量は合計6.6ton/haで既往の調査結果である4~10ton/ha(平泉ほか1996、斎藤1981、渡邊ほか2002)の範囲になった。全体のリターのうち葉が3.6ton/haと56%を占めたが、これについても既往の調査結果(斎藤1990、平泉ほか1996)と同様だった。

3.4 間伐による影響

間伐による影響を間伐前後の観測結果から検討した。気温・地温・土壌水分等の環境条件で見ると、間伐後に長野2の気温が若干高くなる傾向(図-8)が見られた他は、地温及び土壌水分(図-9、10)には明瞭な差が認められなかった。

メタンおよび亜酸化窒素では、間伐後の吸排出量を比較しても長野1と長野2の間には差が認め

られず、間伐による施業の影響は観察されなかった(図-6、7)。

二酸化炭素の排出量は、施業を行った長野2では施業直後から低く(図-5)、間伐前と間伐後の1年間で比較しても、間伐後は間伐前に比べて有意に低下しており(t検定 $p < 0.01$)、二酸化炭素の排出量が減少する結果となった。

通常、施業により上層木が除かれると光環境が改善されて地温が上昇する。これにあわせて土壌微生物の活動が活発となり、有機物の分解が進む。本県でも、今回の調査地に近接するアカマツ林で小面積皆伐したところ、表層土壌の炭素量が1年間で40%減少した事例がある(片倉2003)。有機物の分解が進むと、二酸化炭素排出量が増大すると考えられる。

しかし今回の間伐では、間伐後に二酸化炭素排出量は減少した。そこで、間伐後の環境変化を確認したところ、地温の上昇が認められず(図-9)、落葉層の量も減少していなかった(図-13)。加えて、長野1と長野2における残存木の成長差は有意とはいえなかった(表-4)。このようなことから、有機物の分解は進まず、二酸化炭素の排出量が増加しなかったと考えられる。

一方施業によって、根呼吸量が低下し二酸化炭素排出量が減少する事例も報告されている(阪田ほか2005)。今回の結果から、光環境が改善しない程度の施業では、立木を除去したことによる根呼吸の低下で、二酸化炭素排出量が減少したと判断された。しかし、今後は間伐区でも、残存木の成長に伴う根呼吸量の増加や、枯死根が増加したことによる分解の進行などで二酸化炭素排出量が増加する要素が多くなることから、二酸化炭素の排出量の減少は長期的には続かないと考えられる。

第4章 まとめ

自然界から発生する3種類の温室効果ガス(二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素)を対象として、森林土壌表面からの吸排出量と、間伐施業による吸排出量の変化を測定した。その結果、二酸化炭素は土壌から排出されていたが、メタンは土壌に吸収されており、亜酸化窒素はごく微量が排出されているだけだった。

間伐施業による温室効果ガスの吸排出量の変化を調べたところ、二酸化炭素は排出量が減少したが、メタンの吸収量と亜酸化窒素の排出量には変化が認められなかった。

しかし、本調査は間伐施業から1年半の温室効果ガス吸排出量について観測しただけであり、特に生物活性が高まる夏は1回しか経過していない。このため、今後も観測を継続して行うことで、より明確な施業影響が判断出来るものと思われる。特に、間伐後に減少傾向を示した二酸化炭素排出量については、一時的なものか恒常的なものかを判断する必要があるとともに、メタンの吸収量が間伐の翌々年に変化した例もある(安田ほか2005)ことから、できるだけ長期にわたって観測を継続することが重要であると考えられる。

なお、本研究の実施にあたっては、(独)森林総合研究所立地環境領域養分環境研究室の関係各位には多大なるご協力を頂いた。この場をかりて感謝申し上げます。

引用文献

平泉智子・河口順子・只木良也(1996)名古屋近郊林のリターフォール量の比較—アカマツ林・コナラ林・コジイ林について—、44回日林中支論、75-76。
 環境省(2005)平成17年度版環境白書 脱温暖化—“人”と“しくみ”づくりで築く新時代 ぎょうせい。東京。
 片倉正行(2003)炭素源データ収集システム開発事業—伐採後の炭素量変化調査—、平成14年度長野県林総セ業報、41-42。
 小山泰弘(2003)森林土壌表面におけるメタンと亜酸化窒素の吸排出、第30回長野県環境科学研究発表会講演要旨集、19-20
 小山泰弘(2004)森林土壌表面における温暖化ガスの年変動、第31回長野県環境科学研究発表会講演要旨集、11-12
 陽捷行(1994)土壌圏と大気圏—土壌生態系のガス代謝と地球環境—、朝倉書店、東京、140pp。

森下智陽ほか(2005)日本の森林土壌におけるN₂Oフラックスの季節変化および地点間差、116回日林学術講。
 齋藤秀樹(1981)森林におけるリターフォール研究資料、京都府大演習林報25、78-89。
 齋藤秀樹(1990)アカマツ林の落葉の季節変動と林分間に見られる同調性、京都府大学術報告農学42、47-57。
 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
 SAKATA tadashi、ISHIZUKA shigehiro and TAKAHASHI masamichi (2004) A Method for Measuring Fluxes of Greenhouse Gases from Forest Soils、森林総合研究所研究報告3、259-265。
 阪田匡司ほか(2004)日本の森林土壌におけるCO₂フラックスと立地特性、115回日林学術講。
 阪田匡司ほか(2005)日本の針葉樹林における土壌呼吸に及ぼす施業影響、116回日林学術講。
 高橋正通ほか(2004)日本の森林土壌におけるCH₄、N₂Oフラックスと立地特性、115回日林学術講。
 安田洋ほか(2005)森林におけるメタン及び亜酸化窒素の吸収・排出量と施業影響—メタンの吸収・発生測定—、平成16年度富山県林業技術センター業務報告、17。
 渡邊仁志ほか(2002)35年生針葉樹人工林の植栽木が土壌に及ぼす影響、中森研50、41-44。

(注1) 森林・林業・木材産業分野における温暖化防止機能の計測・評価手法の開発の研究成果を掲載したホームページアドレス
<http://ss.ffpri.affrc.go.jp/labs/soilc/MAIN.htm>

表-1 試験区の概要

試験区名	所在地	緯度	経度	標高(m)	微地形	山腹傾斜	方位	土壌型
長野1	塩尻市片丘	36° 08'28"	138° 00'10"	900	山麓緩斜面	5°	NNE	Bl _D
長野2		36° 08'28"	138° 00'26"					

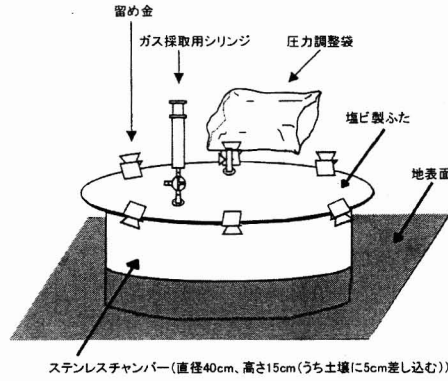


図-1 温室効果ガス採取装置模式図

表-2 試験区の森林(平成14年8月現在)

試験区名	優占種	林班名	植生	林齢(年)	施業歴	林分密度(本・ha)	地位級
長野1	アカマツ	40-ロ-42	アカマツ-ヤマツツジ群	50	間伐 (35年生時)	500	II
長野2		40-ロ-43	集			575	

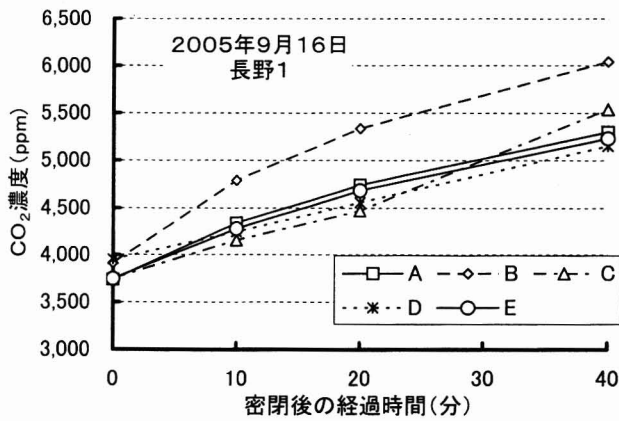


図-2 チャンバー内の二酸化炭素濃度の変化

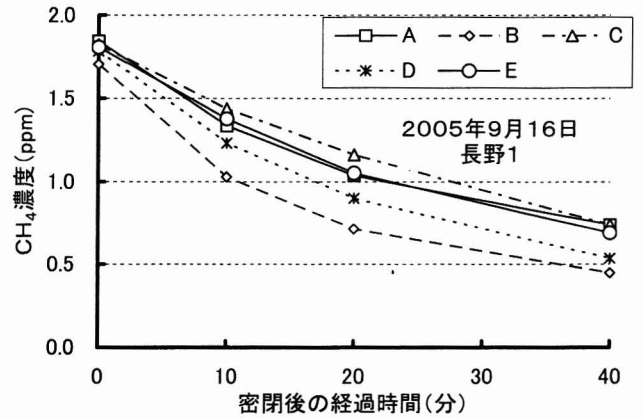


図-3 チャンバー内のメタン濃度の変化

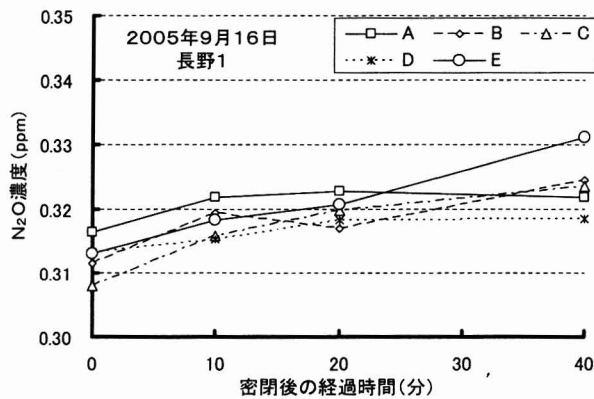


図-4 チャンバー内の亜酸化窒素濃度の変化

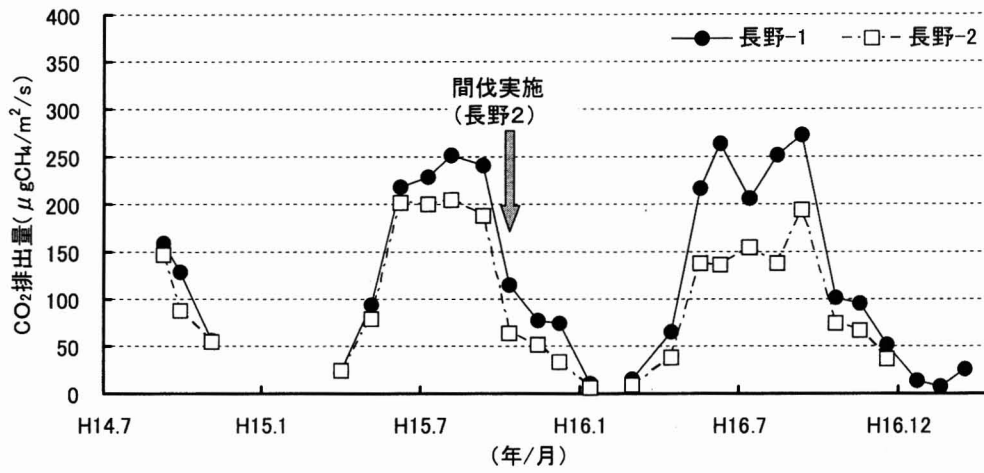


図-5 二酸化炭素排出量の年変動

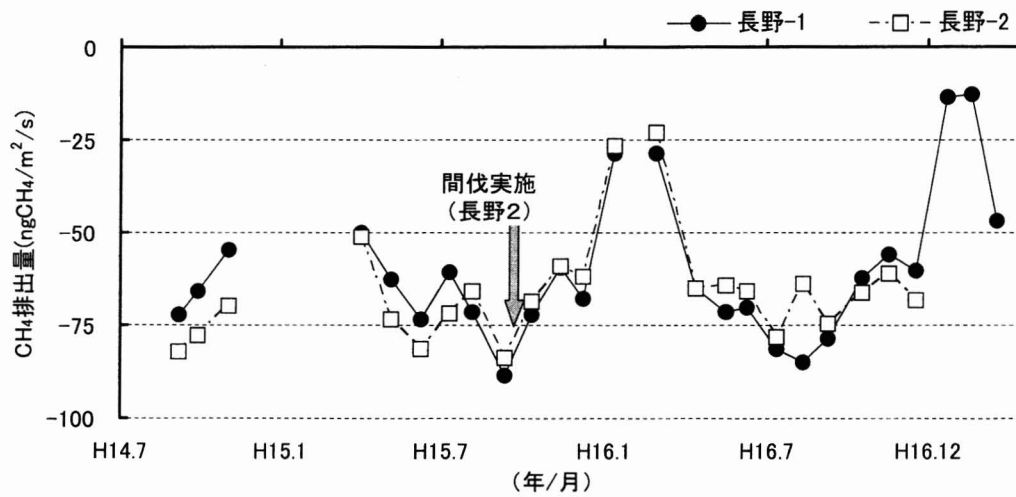


図-6 メタンガス排出量の年変動

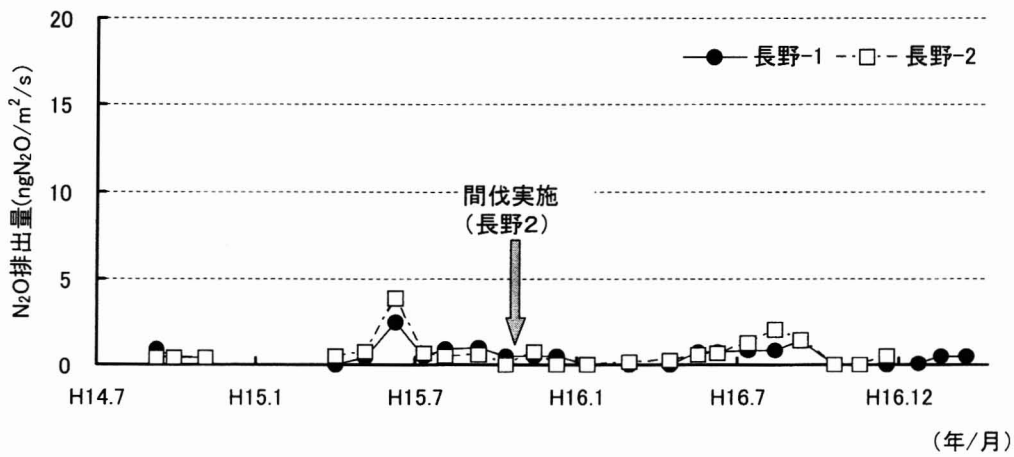


図-7 亜酸化窒素排出量の年変動

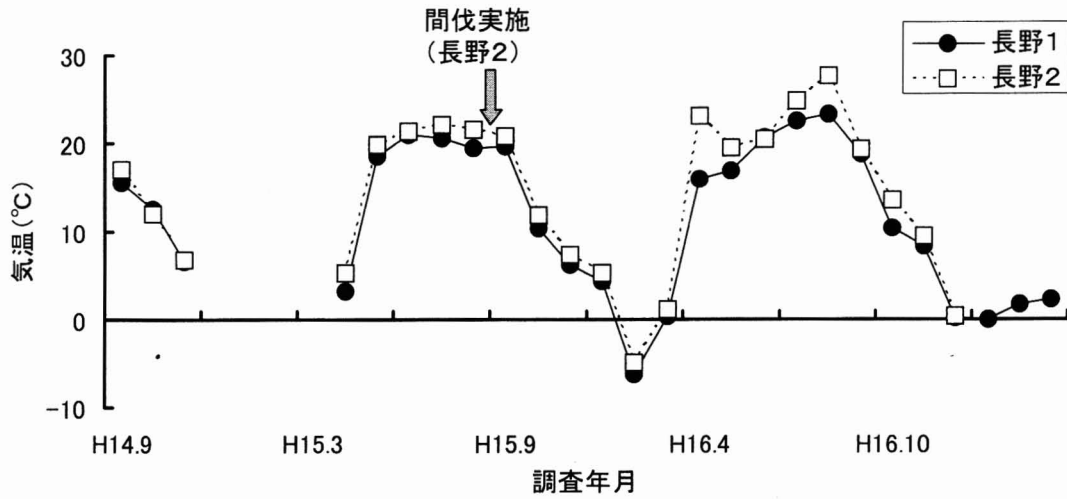


図-8 温室効果ガス採取時の気温

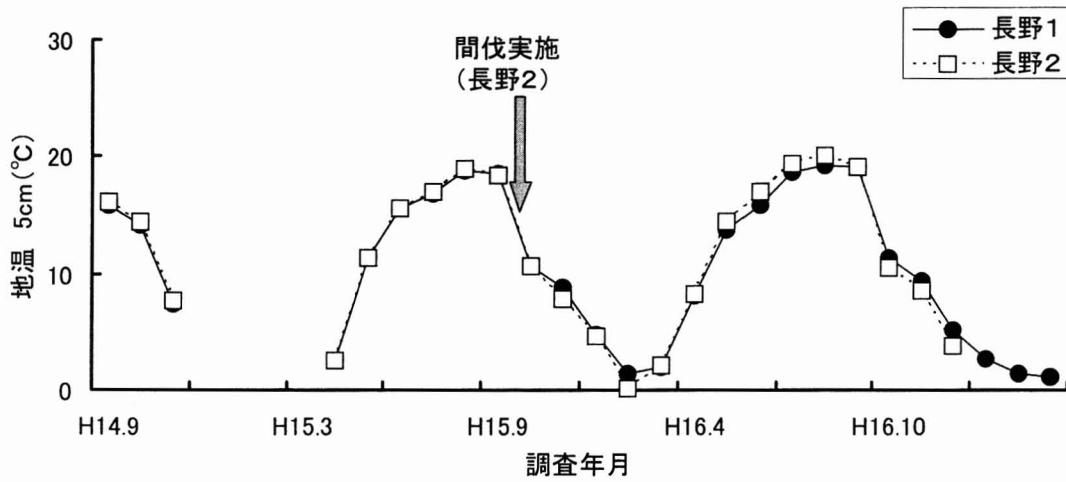


図-9 温室効果ガス採取時の地温

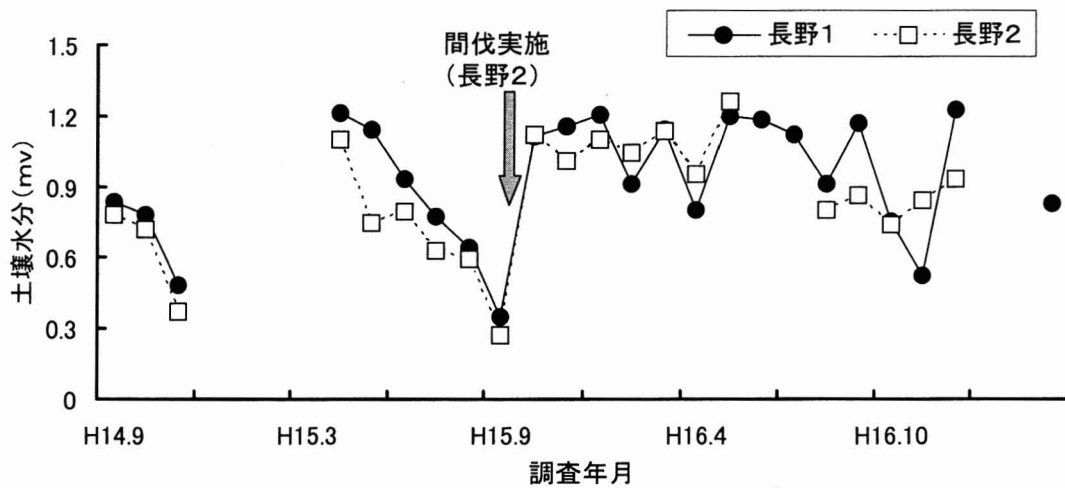


図-10 温室効果ガス採取時の土壌水分

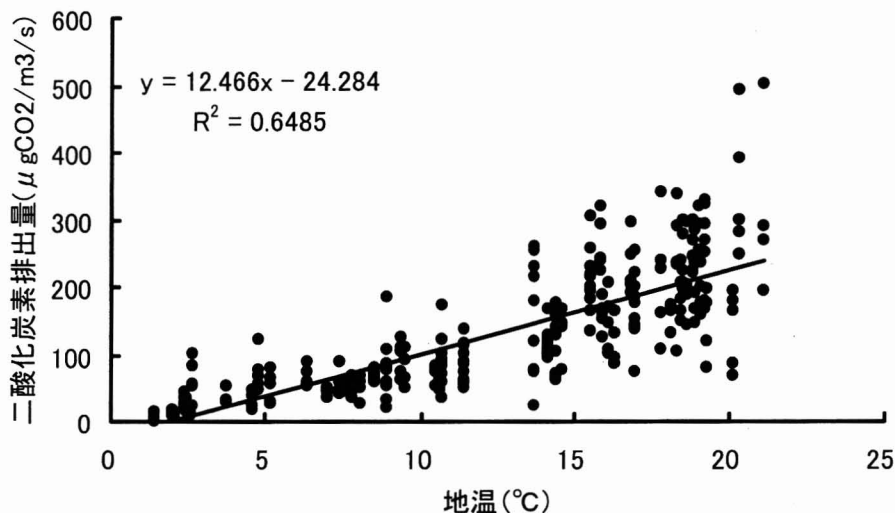


図-11 地温と二酸化炭素排出量との関係

表-3 試験区の毎木調査結果

試験区名	優占種	調査開始時(H14.8.22)			施業 (H15.9.26)	調査終了時(H16.12.21)		
		林分密度 (本/ha)	胸高直径 (cm)	樹高 (m)		林分密度 (本/ha)	胸高直径 (cm)	樹高 (m)
長野1	アカマツ	500	37.4	20.1	無間伐	500	39.1	20.6
長野2		575	30.8	19.1	間伐*	350	35.9	19.9

* 本数間伐率40%、材積間伐率25%

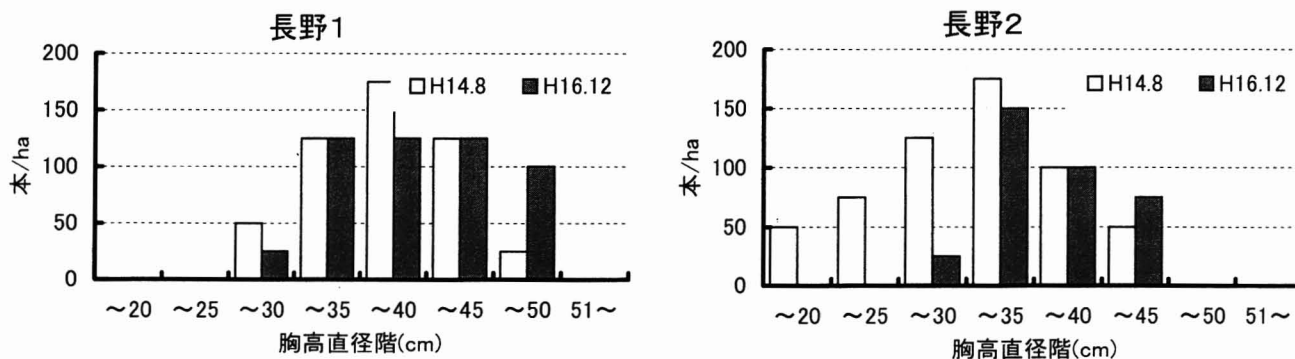


図-12 試験区森林の胸高直径階別本数分布

表-4 試験区におけるアカマツの成長状況

測定項目	試験区名	毎木調査結果		立木成長率 (H16/H14)
		H14.8	H16.12	
胸高直径 (cm)	長野1	37.4	39.1	104.5%
	長野2	34.8	35.9	103.2%
樹高(m)	長野1	20.1	20.6	102.5%
	長野2	19.3	19.9	103.1%

* 長野2は間伐残存木のみ

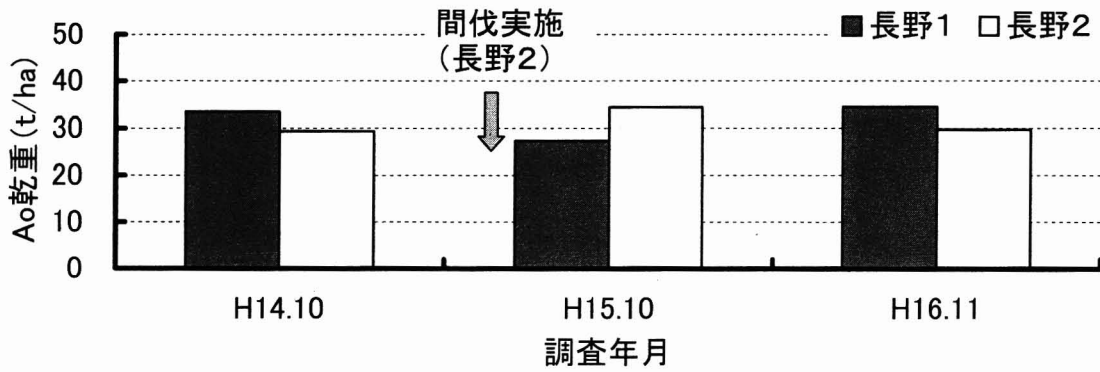


図-13 試験区の落葉層堆積量

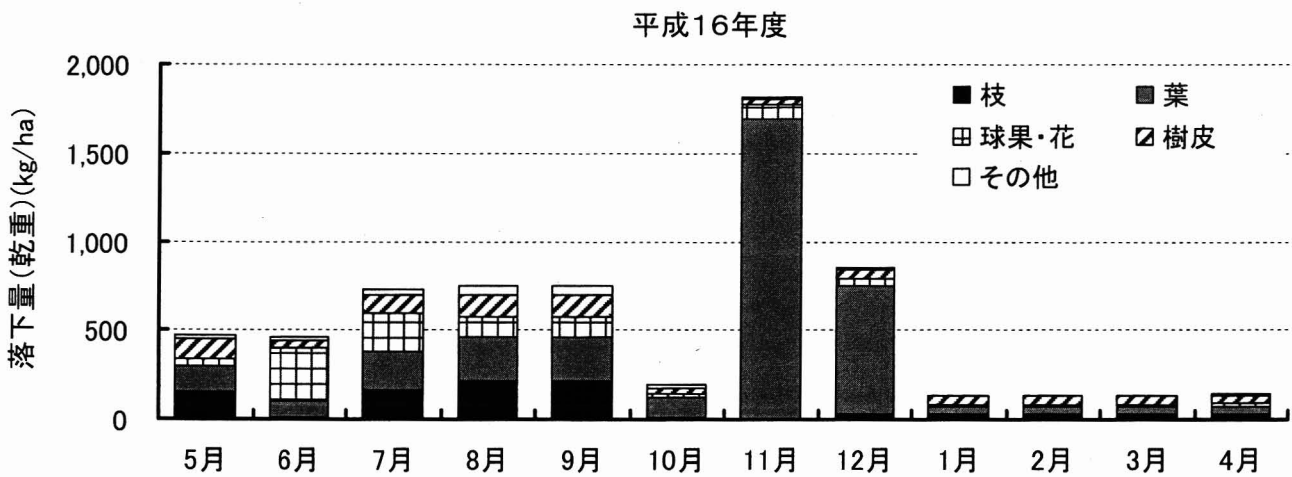


図-14 試験区のリターフォール量