

学 位 論 文 題 名

Studies on Fluxes of Trace Gases through the Snowpack: their Implication to the Global Budgets

（亜寒帯地域における積雪を通した温室効果気体の
フラックス：地球規模収支への寄与に関する研究）

学位論文内容の要旨

地球規模での温室効果気体の循環を考える上で、土壌から大気へ放出される $\text{CO}_2 \cdot \text{N}_2\text{O}$ 量と、大気から土壌へ除去される CH_4 量の正確な見積もりが重要である。これまでは積雪で覆われた地域での温室効果気体の交換は無視された場合が多く、実測された例も非常に少ないのが現状である。

そこで、本研究では 1995 年から 1996 年まで低温科学研究所、北大植物園、手稲山と野幌森林公園において、1996 年から 1997 年まで低温科学研究所において、冬季の間、1) 積雪で覆われた土壌の中での温室効果気体 (CO_2 、 CH_4 と N_2O) の生成と除去の変動要因を調べ、2) 積雪中での拡散係数を求め、それらの気体のフラックスを見積もった。また、3) 積雪表面に設置したチャンバーを用いてそれらの気体のフラックスを見積もり、前述 2) との比較・検討を行った。さらに、4) 高緯度地域での積雪を通した CO_2 、 CH_4 や N_2O のフラックスの見積もりを行い、全球的な規模での冬期亜寒帯域の重要性と地球規模の収支への寄与度を明らかにした。

個々の詳細な研究成果は以下の通りである。

- 1) 土壌と積雪中での CO_2 、 N_2O 、 CH_4 と ^{222}Rn の濃度分布は気温と積雪深によって大きく変動した。積雪深が 20 cm 以下の場合、零下の気温の影響を受けた土壌表面が凍ってこれらの気体の濃度勾配が大きくなった。積雪深が 50 cm 以上の場合、気温の影響を受けずに土壌表面が解け、土壌表面付近にたまった CO_2 と N_2O は下部積雪へ放出され、大気 CH_4 は逆に土壌へ移動した。
- 2) 土壌内での N_2O 生成は、 CO_2 の生成メカニズムとは異なり、土壌中の酸素濃度によって大きく変動し、 N_2O 濃度と O_2/N_2 の濃度比は逆の相関性を示した。これは窒素固定によるのか、脱窒反応によるのかは同定できなかった。また、 CO_2 の最大濃度は 39,000 ppmv で、土壌深 40cm において初冬（1996 年 12 月 1 日）に観測された。 N_2O の最大濃度は 11,000 ppbv で、土壌深 30cm において冬中頃（1997 年 2 月 4 日）に観測された。

- 3) 95 年と 96 年の冬季の積雪を通した CO_2 の年平均フラックスはそれぞれ 35 ± 19 と $25 \pm 19 \text{ mmol/m}^2/\text{day}$ であり、 CH_4 の平均フラックスはそれぞれ -16 ± 10 と $-7.5 \pm 3.1 \text{ } \mu\text{mol/m}^2/\text{day}$ であった。これらの年間フラックスは、誤差範囲以内で一致した。また、96 年度の N_2O の平均フラックスは $5.1 \pm 3.1 \text{ } \mu\text{mol/m}^2/\text{day}$ であった。
- 4) 強い季節風による影響を最小化するため設計されたチャンバーは気象の変動に関係なく、冬季の間、得られたそれらの気体のフラックスは一定であった。しかしながら、拡散計数による気体のフラックスは、前述 1) のように気温と積雪深に大きく左右された。
- 5) 2 年間かけて見積もった冬季フラックスと現在までの研究報告からの見積もりを合わせて得られた、雪で覆われた北半球の高緯度地域における CO_2 のフラックスは 1.50 PgC/season から 1.98 PgC/season であった。この量は IPCC の報告書による、一年間に海が吸収する CO_2 量に相当する。 N_2O の冬季フラックスに関する研究報告はわずかであるが、亜寒帯地域では冬季フラックス ($11 \pm 6.5 \text{ mgN/m}^2/\text{season}$) が年間総フラックスの 70% 以上を占めた。 CH_4 の場合、亜寒帯地域での冬季フラックス ($22 \pm 8 \text{ mgC/m}^2/\text{season}$) が年間総フラックスの 27% を占めた。

以上のようなことから亜寒帯地域を含む北半球の高緯度地域において冬季フラックスの見積もりは地球規模の収支を考える上で無視できない量と考えられる。さらに、これらの温室効果気体に関する多くのフィールド観測のデータはモデルによる地球規模の収支のより正確な見積もりに大きく寄与すると思われる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 角 皆 静 男

副 査 教 授 乗 木 新一郎

副 査 助教授 田 中 教 幸

副 査 助教授 渡 辺 修 一

副 査 室 長 原 蘭 芳 信 (農業環境技術研究所)

学 位 論 文 題 名

Studies on Fluxes of Trace Gases through the Snowpack: their Implication to the Global Budgets

(亜寒帯地域における積雪を通した温室効果気体の
フラックス：地球規模収支への寄与に関する研究)

二酸化炭素 (CO_2)、メタン (CH_4)、亜酸化窒素 (N_2O) など温室効果気体による地球温暖化を明らかにするためには、地表を通して移動するこれらの輸送量 (フラックス) を正確に見積もることが必要である。これまで積雪で覆われた地域の土壌からの CO_2 と N_2O の放出や土壌への CH_4 の吸収量に関しては無視される場合が多く、実測された例も非常に少なかった。そこで、申請者は2回の冬季に、札幌周辺域において積雪を通して移動する CO_2 、 CH_4 および N_2O のフラックスを見積り、それらの温室効果気体の収支における役割を解明しようとした。審査員一同が評価した点は以下である。

1) 積雪中を移動する物質のフラックスを求めるために必要となる拡散係数を放射性核種 (半減期 3.82 日) である ^{222}Rn を用いて決定する方法を確立したこと。希ガスである ^{222}Rn は化学的に安定であり生物活動の影響を受けないので、その積雪中での分布は自己の放射壊変と拡散によってのみ決まる。これを利用するとともに、積雪表面に設置したチャンバーを用いて得たフラックスの値とも比較した。その結果 ^{222}Rn による拡散係数は、ほぼ雪の密度に支配されており、積雪の上部では放射平衡になっていない場合があることがわかった。また、土壌中の ^{222}Rn を用いて得た積雪下の土壌中空気の拡散係数は温度に大きく依存することもわかった。

2) 1995 年から 1996 年までの冬季において異なる植生を持つ低温科学研究

所、北大植物園、野幌森林公園と手稲山において積雪を通しての CO_2 と CH_4 のフラックスを見積もり、植生による変動がそれほど大きくないことを明らかにしたこと。そして、各測点において積雪下のフラックスに最も大きな効果を及ぼすものは土壌温度であることを明らかにしたこと。土壌からの積雪を通して大気に放出されるフラックスは大きく変動するが、 CO_2 と CH_4 の冬季フラックスが年間フラックスの 10 % と 25 % になることがわかった。

3) 土壌からの CO_2 、 N_2O と CH_4 のフラックスと積雪深との関係を 1996 年から 1997 年までの冬季、低温科学研究所における約十日おきの観測結果から明らかにしたこと。土壌中で形成される CO_2 や N_2O は、積雪が少ないと土壌表面が凍結し、土壌の亜表層に貯まっていく。観測された土壌 CO_2 の最大濃度は 39,000 ppmv で、大気濃度の 100 倍以上であった。また、 N_2O については、大気濃度 (310 ppbv) の 300 倍以上であった。なお、 N_2O が高濃度になるのは、 O_2/N_2 の体積比と逆相関になることから硝化反応によるものと推定したが、脱窒反応の可能性がまったくないわけではなかった。積雪が厚くなると (50cm 以上)、雪が保温効果を示し、土壌の氷が融け、土壌中気体は活発に移動するようになり、雪の中で高純度の CO_2 が観測された。融雪期には、土壌表面が溶けた水で覆われ、土壌空隙が閉じ、気体の移動が押さえられて以前より小さなフラックスになった。

4) これらの亜寒帯地域で得られた 2 年間のフラックスと、これまでに北半球高緯度地域において観測された積雪期のフラックスを集め、北半球の植生分布を考慮して、土壌からの CO_2 と N_2O の放出量や、 CH_4 の土壌中での酸化量を見積もったこと。その結果は、40 度以上の高緯度地帯からの CO_2 の冬季放出量が約 2GtC/season ($1 \text{ Gt} = 10^{12} \text{ gC}$) に達すること示している。これは、海洋における正味の年間 CO_2 吸収量に相当し、雪で覆われた地帯からの CO_2 放出量が無視できないことがわかる。

審査員一同は、以上の評価をもとに、また、申請者は日本語を全く知らない状態で 4 年前に来日し、誠実、熱心に研鑽した結果、研究面ばかりではなく、日本語も十分に習得していることや大学院課程における必要な単位も取得していることも考慮し、博士 (地球環境科学) 学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。