

Study on CO₂ Concentration Under the Snowpack at a Warm Part of Snowy Region

Yasuhiro Kominami*

Summary

The CO₂ concentration in the air on the soil surface boundary under the snow cover was measured over four winter seasons from 1991 - 1994 to analyze its behaviors under natural conditions and to determine the quantitatively processes involved in CO₂ transfer under the snow cover.

We developed an instrument to evaluate the gas diffusion coefficient of the snow layer based on the non-steady -state gas diffusion theory. To examine the performance of this instrument and to validate the related assumptions, we supplied the indtrument with glass beads and a bundle of glass tubes. The diffusion coefficient thus measured agreed closely with those calculated theoretically from the geometrical features of the glass beads and tubes.

By using the instrument, we determined the CO₂ diffusion coefficient through several forms of snow piles; each different in age and in weather exposure. The forms were classified into 1) newly fallen snow, 2) granular snow and 3) compacted snow. The deposit had a wide range of snow forms. The diffusion coefficients obtained were proportional to the porosity of the snow.

To determine another component of the coefficient induced by outdoor wind turbulence (hereafter, the turbulent coefficient), we measured the CO₂ flux above the snow cover and the CO₂ concentration difference between the atmosphere and the air at the bottom of snow cover. The turbulent coefficient thus obtained was well expressed as a function of wind speed and snow depth.

A factor was introduced to determine the process of CO₂ dissipation from the snow pile by CO₂ dissolution in melted water. The factor was obtained from the measurement of soluble CO₂ concentration in melted water and the CO₂ concentration of the air at the bottom of snow cover.

These processes were incorporated into a mathematical model to simulate the CO₂ exchange between soil, snow and atmosphere. The model used atmospheric CO₂ concentration, snow depth, snow load, the flow rate of melted water, wind speed and the source intensity of CO₂ emission from underlying soil as inputs. The simulated results were well agreed with those observed in the CO₂ concentration under the snow cover.

分子拡散のみを考えたモデルとの比較では、風の影響による積雪層底部のCO₂濃度の低下の度合いが融雪水への溶解によるものに比べてやや大きかった。また、風や融雪水によって積雪層外へ運ばれるCO₂量は、1994年の場合は1m²あたり最大で0.7~0.8gCO₂程度であった。

5. 今後の課題

本研究の中では、積雪の「質」を特徴づける量としては積雪密度（あるいは気相率）しか考慮していない。これは測器の制約などによるものであるが、筆者が本研究を開始した1991年以来、北陸地方が暖冬少雪傾向であったことも、その一因である。研究期間中、積雪期間の大部分にわたって濡れ変態が卓

越し、表層のわずかな新雪以外は全層ザラメという状態が多々見られた。前節において、本研究の結果は暖地積雪に特徴的なものだと書いたが、これはすなわち、本研究で作ったモデルをたとえば北海道などでそのまま適用するのは危険だということでもある。したがって、モデルの普遍性を担保するためには、別の地域でも追試を行って比較していく必要がある。

また、融雪水によるCO₂の溶解係数 α については、けっきょく経験値的な結果しか得られず、機構的な解析ができなかった。この点については自然積雪についての測定のみではなく、室内での精密な実験が必要だと思われる。

VIII 摘 要

4寒候期にわたって積雪層底部におけるCO₂濃度の連続測定を行うとともに、積雪層内をCO₂が移動する各プロセス毎に実験・検討を行い定量化した。

積雪の分子ガス拡散係数は、土壌と大気との間のガス交換に対する抵抗としての働きを評価する基本的なパラメタである。これを測定するために、非定常拡散理論に基づく分子ガス拡散係数測定装置を開発した。まず絶対値精度および境界条件の確からしさに対する検定を行った後、新雪・しまり雪・ザラメ雪の3種の自然積雪について測定を行い、相対拡散係数 D_R を積雪気相率の一次式とする実験式を得た。

積雪表面上を吹く風によって積雪層内の空気が乱され、積雪内と大気との間のガス交換が促進される。この効果を見積もるために、渦相関法によって観測した大気中のCO₂フラックスと積雪層内のCO₂濃度勾配より、積雪内の乱流ガス拡散係数を得た。さらにこれを風速および積雪深の関数として求める推定

式を作成した。

積雪表面で生じた融雪水が積雪内を流下する際、積雪間隙中のCO₂が溶解されるため、融雪期には積雪層内のCO₂濃度は低下する。この溶解の効率を表わす指標として、輸送理論から導かれる溶解係数 α' を導入した。積雪層底部CO₂濃度および融雪水中の溶存CO₂量の測定値より α' の平均的な値を求めた。

以上のように検討した各プロセスを統合して、積雪内のCO₂濃度を再現する数値モデルを構築した。モデルは土層と積雪層から成る2層の一次元モデルで、積雪深・積雪重量・融雪量・風速、および別途見積もったCO₂発生強度（土壌呼吸活性）を入力し、積雪内の任意の深さのCO₂濃度、あるいは移動量を出力する。先に述べた4寒候期の連続観測のデータと比較した結果、良好な一致が見られた。本モデルおよび各プロセスの検討結果は、CO₂にとどまらず、積雪と大気との各種物質交換に広く応用しうるものと思われる。

引 用 文 献

1. Albert, M. R. (1993) Some numerical experiments on firn ventilation with heat transfer. *Annals of Glaciology*, 18, 161-165.
2. Albert, M. R. and Hardy, J. P. (1995) Ventilation experiments in a seasonal snow cover, *Biogeochemistry on seasonal snow-covered catchments* (Proceedings of a Boulder symposium, July 1995). IAHS Publ., no.228, 41-49.
3. Albert, M. R. (1996) Modeling heat, mass, and