課題番号　2014A ―　F04

# スロベニア森林土壌および土壌空気の $CO_2$ 炭素同位体分析 VII

Carbon isotope analyses of $CO_2$ in forest soil and soil air in Slovenia VII

藤吉　亮子 [1)]　　天野　光 [2)]

Ryoko FUJIYOSHI　　Hikaru AMANO

[1)]北海道大学　　[2)]日本分析センター

森林域における土壌空気 $CO_2$ の発生源を明らかにする研究の一環として、スロベニアの温帯落葉樹林帯において異なる深度 (0.2, 0.4, 0.6, 0.8 m) の土壌空気をアルカリ吸収-炭酸塩法を用いて採取し、$CO_2$ の炭素同位体分析を行った。深度 0.8 m における 9 月の土壌空気が、炭酸塩土壌においても無機炭酸成分からではなく、土壌表層の微生物活動に由来する $CO_2$ からなることを 2012 年に明らかにした。2014 年は、これまで検討した観測サイトのうち炭酸塩土壌(Idrija, Rakitna) および河川堆積物性土壌（Gorišnica）について検討した。その結果、連日の降雨の影響を受けて $CO_2$ 濃度は土壌深度に対して大きく変化した。しかし、土壌空気の超微量成分であるラドン($^{222}$Rn) 放射能濃度と $CO_2$ 濃度との間には、観測サイトの違いにかかわらずほぼ同一の正の相関関係が存在し、土壌空気中の両成分の動きに類似性が確認された。土壌空気 $CO_2$ の安定および放射性炭素同位体比($\delta^{13}$C および $\Delta^{14}$C) の関係から、検討地域における 2013 年 9 月の土壌空気は、いずれも土壌有機物の分解過程で生成する $CO_2$ を含んでいることが示唆された。

キーワード：スロベニア、森林土壌空気、$CO_2$、炭素同位体組成、ラドン($^{222}$Rn)

１．目的　陸域における炭素循環を解明する研究の一環として、地質や植生の異なる森林域に注目し、土壌空気に含まれる $CO_2$ の発生源推定を目的としている。土壌中に存在する(微) 生物の種類や数はきわめて多く、変化に富むことから、本研究では AMS による炭素同位体分析を通して非生物学的なアプローチで土壌空気 $CO_2$ の発生源を追跡することを試みている。本研究は 2012 年度の継続研究であり、スロベニアにおける地質の異なる 3 ヶ所の森林域で採取した土壌空気 $CO_2$ の炭素同位体比($\delta^{13}$C, $\Delta^{14}$C)と土壌深度との関係性を明らかにし、$CO_2$ の発生源を特定することを直接の目的とした。

２．方法　スロベニア国内の温帯落葉樹林域 (Rakitna, Idrija, Gorišnica) において、ステンレス製掘削装置(内径 $10^{-2}$ m、長さ 1.2 m) により林床に試坑を掘削 (0.8 m)し、定量ポンプ (0.3 $dm^3$ $min^{-1}$)を用いて土壌空気を捕集 (1 時間)した。その際、捕集用密栓付ガラス瓶 (0.15 $dm^3$)には 1 M NaOH 水溶液 (100 $dm^3$)を入れ、容器内の空気をあらかじめ窒素で置換した。土壌空気のバブリングを通して得られた試料溶液にアンモニア水を加えて pH を 10 に調整し(pH メータ H199121, HANNA, USA)、上澄み液に白濁が生じなくなるまで 1 M $CaCl_2$ 水溶液を添加した後、密封して実験室に持ち帰った。数時間放置後、懸濁試料溶液をろ過して得られた $CaCO_3$ の沈殿を乾燥器で乾燥 (100 ℃,24 時間)した。すべての試料を日本原子力研究開発機構青森研究開発センターむつ事務所に輸送し、試料の熱分解 (900℃, 2 時間)、水分除去、$CO_2$ 精製の前処理を行った後グラファイト化して AMS による炭素同位体分析に供した。

３．結果及び考察　2013 年に検討した森林域 (Rakitna, Idrija, Gorišnica) の詳細は、2012 年度の本報告書に示した。表 1 に 2013 年 9 月に捕集した土壌空気 $CO_2$ の炭素同位体分析の結果をまとめた。この年のスロベニアは降雨の日が多く、いくつかの観測ポイントでは土壌表層部分の水分が飽和していた。炭酸塩土壌である Rakitna における結果を図 1 に示す。降雨による土壌の水分環境を反映して、土壌深度 0.4 m における $CO_2$ 濃度の著しく低いことがわかる。他の観測サイトについても同様に、$CO_2$ 濃度が深度に対して大きく変化することがわかった。しかし図 2 から明らかなように、$CO_2$ 濃度と同時に測定したとラドン($^{222}$Rn) 放射能濃度との間には、データ数は少ないもののいずれの森林域においても正の相関関係の存在することがわかった。このような結果は、北大構内の半原生林中においても得られており(2011 年)、物理化学的特性や濃度の異なる土壌空気中の両気体成分の動きには関連性のあることがあらためて示唆された。本観測ポイントで得られた土壌空気 $CO_2$ の炭素同位体分析の結果を、大気 (Atmosphere)および微生物による分解レベルの異なる土壌有機物 (Young SOM, Old SOM) についての文献値とともに、$\delta^{13}$C と $\Delta^{14}$C の関係として図 3 にプロットした(1)。図から、検討した森林域の土壌 $CO_2$ は土壌深度に依存して、異なる分解レベルの有機物に由来する $CO_2$ を含むことが確認された。

森林域における土壌 $CO_2$ の発生源については、植生や地質の違いのみならず、土壌空気の移動や変動（日・季

節）の影響など依然として多くの未解明な課題が残されており、さらなるデータの蓄積とともに今後より詳細な検討が必要である。

表 1 スロベニア森林域 (Rakitna, Idrija, Gorišnica) 土壌空気中の炭素同位体分析結果

| 観測サイト(深度 m) | $\delta^{13}$C (vs PDB) (‰) | $^{14}$C/$^{12}$C (×$10^{-12}$) ± error (×$10^{-15}$) | |
|---|---|---|---|
| Rakitna | | | |
| 0.2 | -18.63 | 1.0252 | 3.5 |
| 0.4 | -19.34 | 0.9775 | 3.5 |
| 0.6 | -18.12 | 1.0138 | 3.5 |
| 0.8 | -18.38 | 1.0125 | 3.5 |
| Idrija | | | |
| 0.2 | -18.95 | 0.9321 | 3.2 |
| 0.4 | -18.60 | 0.9758 | 3.4 |
| 0.6 | -21.70 | 1.0241 | 3.5 |
| 0.8 | -21.55 | 1.0174 | 3.6 |
| Gorišnica | | | |
| 0.2 | -18.63 | 0.9436 | 3.4 |
| 0.4 | -19.64 | 0.8796 | 3.3 |
| 0.8 | -16.82 | 0.9081 | 3.4 |
| バックグラウンド | 測定日：2014 月 12 月 2-4 日<br>Background $^{14}$C/$^{12}$C: 9.1410×$10^{-16}$ ± 1.125 ×$10^{-16}$<br>Modern $^{14}$C/$^{12}$C 比: 1.0000×$10^{-12}$ ± 2.200 ×$10^{-15}$ | | |
| 標準物質 | 標準物質 | pMC | $\delta^{13}$C(vs PDB) |
| | C1-BH | 0.04 ± 0.02 | 2.55 |
| | C6-GE | 148.70 ± 0.54 | -10.32 |
| | C6-GG | 148.93 ± 0.54 | -10.34 |
| | C6-GI | 148.95 ± 0.54 | -10.33 |

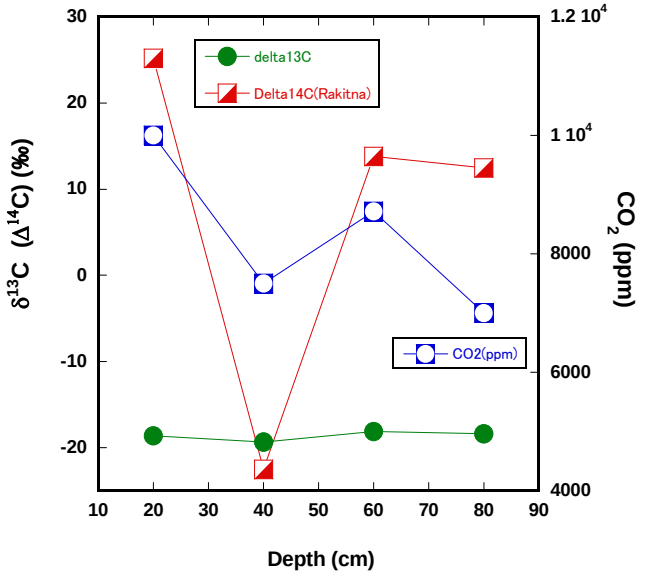


図 1 土壌空気中の $CO_2$ 濃度及びその炭素同位体比 ($\delta^{13}$C, $\Delta^{14}$C)：土壌深度による変化 (Rakitna)

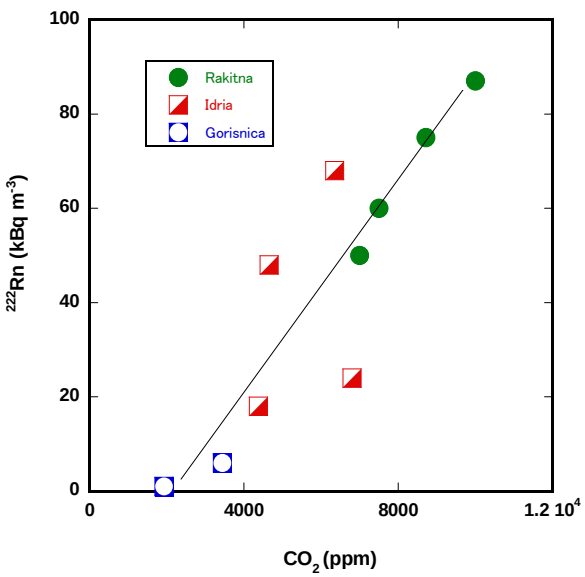


図 2 観測サイト (Rakitna, Gorišnica) における土壌空気 $CO_2$ 濃度と $^{222}$Rn 放射能濃度の関係

## ４．引用（参照）文献等


1. Fujiyoshi R. (2013) Comparative studies of gaseous components ($^{222}Rn$, $CO_2$ and its carbon isotopes) in soil (soil air) under temperate forest sites in Japan and in Slovenia, Open Seminar at the Jozef Stefan Institute, Sep. 17 2013.

2. Fujiyoshi R., Amano H., Sakuta Y., Okamoto K., Sumiyoshi T., Kobal I., Vaupotič J. (2012) Practical evaluation of carbon sources of forest soils in Slovenia from stable and radio-carbon isotope measurements, Environ. Earth Sci., 67(1), 133-140.

3. Myorga E., Aufdenkampe AK, Masiello CA, Krusche AV, Hedgens JI, Auay PD, Young organic matter as a source of carbon dioxide outgassing from Amazon Rivers, Nature 436(28), 538-541.


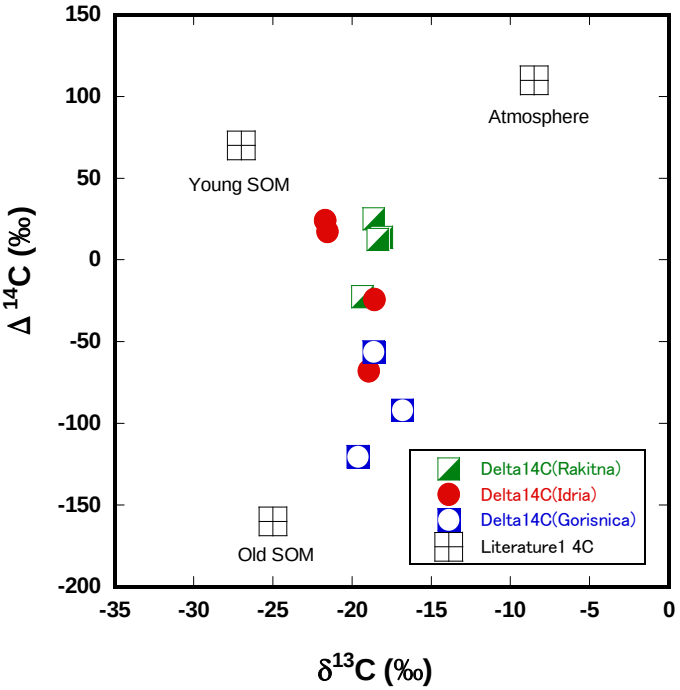


図 3　観測域 ((Rakitna, Idrija, Gorišnica) における土壌空気 $CO_2$ の炭素同位体比 ($\delta^{13}C$ および $\Delta^{14}C$) の関係 大気 (Atmosphere)および土壌有機物 (Young SOM, Old SOM) に対する文献値 (3)も図中に示した。

## 5. 謝辞


本研究は、独立行政法人日本原子力研究開発機構施設共用制度の支援によりタンデトロン加速器質量分析装置(JAEA-AMS-MURAU)を用いた炭素同位体分析により遂行された。前処理および測定に関して、同機構青森研究開発センターむつ事務所の皆様に大変お世話をいただきました。心から感謝申し上げます。また、スロベニアにおける試料採取、土壌中の $CO_2$ およびラドン測定は、2004 年以来継続しているスロベニアとの共同研究 (Dr. Janja Vaupotič, Jozef Stefan 研究所）の一環として実施された。同研究所の Dr. Nives Ogrinc は、スロベニアで採取した土壌空気 $CO_2$ の一部の試料について安定炭素同位体比 ($\delta^{13}C$)を測定してくださいました。感謝申し上げます。