課題番号　2010A-F05

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

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

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、地質学的背景の異なるスロベニア国内６ヶ所の温帯落葉樹林域において土壌試料を採取し、各観測サイトにおいて CO_2 の測定を行うとともに AMS および IRMS による土壌 CO_2 の炭素同位体分析を行った．2010 年度はその継続研究として、前年度に測定を行っていない他の観測サイト(特に炭酸塩土壌) を含む未処理試料（バルク試料）およびそれらを熱・化学処理した試料について炭素同位体分析を行い、前年度の結果とあわせて同位体比　($\delta^{13}C$, $\Delta^{14}C$) と土壌特性との関係を考察した.

キーワード：スロベニア、森林土壌、CO_2,　炭素同位体組成、土壌特性

１．目的　大気中の CO_2 濃度増加に伴う気候変動の評価には、陸上生態系における炭素の貯蔵および循環過程を明らかにすることが必要であり、とりわけ土壌プロセスの解明は重要な課題とされている。本研究においては、人為的介入の比較的少ない森林域において土壌空気に含まれる CO_2 濃度の変動およびその発生源を明らかにすることを目的として、2009 年からスロベニアの研究者 (Dr.Janja Vaupotič, Jozef Stefan Institute, Slovenia)と共同研究を継続している。土壌 CO_2 の環境依存性に関する知見を得るため、2009 年８月にスロベニア国内６ヶ所の森林域から採取した土壌試料 (最表層から深さ約 40ｃｍまで）のうち前年度に測定できなかった石灰岩地帯のバルク試料およびそれらを熱・化学処理した試料について炭素の同位体分析を行った。観測地特有の土壌に含まれる炭素の存在状態に依存した炭素同位体比のデータを取得し、注目サイトにおける土壌炭素の起源を簡便に明らかにすることを目的とした。

２．方法　観測ポイントにおける土壌空気 CO_2 濃度の測定 - 2009 年度に得られた結果をもとにスロベニア国内７ヶ所（新たに加わった４ヶ所を含む）の森林土壌に試坑 (30 cm) を掘削し、CO_2 プローブ (TESTO, Germany) を設置して CO_2 濃度、地温、地圧および土壌湿度の測定を行った (2010 年９月、藤吉、Vaupotič).

土壌試料および前処理 - 2009 年に採取した土壌試料のうち、まだ同位体分析を行っていない乾燥バルク試料を対象とした。試料の一部を電気炉に入れ、550 ℃で２時間加熱することにより土壌有機物を分解した。得られた熱分解生成物を熱処理試料とした．また別の一部は酸（1M HCl）処理したのち酸不溶性残留物を集めて酸処理試料とした。

AMS 用試料前処理 - 農林水産省により輸入禁止品 (土壌) の輸送が許可されたのち、JAEA むつ事務所において各観測サイトで採取した上記３種類の土壌試料について前処理を行った．その際、土壌試料（バルク、熱処理および酸処理試料）は石英管に入れて電気炉で熱分解（900℃, 2hrs）したのち真空ライン中で水分除去および CO_2 精製を行い、空気試料の場合と同様にグラファイト化して AMS 用ターゲットを作成した.

３．研究成果　図１にスロベニアの観測サイトを、表１に各観測サイトの位置、地質、植生および CO_2 濃度の測定結果をまとめた．ポイント 2, 3 および 6 はドロマイトを含む石灰岩地帯である．採取した土壌試料（バルク、熱処理、酸処理）の一部について炭素同位体分析を行った．測定結果 ($\delta^{13}C$, $\Delta^{14}C$) を表 2 に示す。図２には、各ポイントにおけるバルク試料の有機物含量 (%)と $\delta^{13}C$ 測定結果との関係をプロットした。両者の間には良い負の相関関係が存在し、特にレキや破砕岩石の多いポイント３を除いて、炭酸塩土壌とその他の土壌で直線の勾配に大きな差異のあることがわかった。ここで、有機物含量の低い土壌試料はより深層から採取されたものであり、微生物による土壌有機物の分解とともにその $\delta^{13}C$ の値が大きくなることが明らかである。

炭酸塩土壌 (P2, P6) について得られた炭素同位体比 ($\delta^{13}C$, $\Delta^{14}C$) の関係を図３に示す。各ポイントにおいて、土壌の

前処理に関らず両者の間に負の相関関係 (r = 0.9998) が存在した。土壌の前処理により、炭素同位体比はそれぞれの構成成分特有の値へと変化することが明らかになった。

土壌に含まれる炭素が、有機態および無機態として存在すると仮定し、それぞれの炭素同位体比[1] および得られた測定結果 (表２) を用いて各ポイントにおける炭素の起源を推定した。図４に$\delta^{13}C$ 値を用いて計算した結果を示す。図から、最表層部分 (0–2 cm) に存在する炭素の大部分 (70–100 %) は、土壌有機物起源であるのに対し、より深い部分 (30–35 cm) は土壌の特性により異なることが明らかになった。特に、ポイント２の深さ 30 cm 付近の土壌層に含まれる炭素は 100 % 炭酸塩由来であることが確認された。同様な結果は、$\Delta^{14}C$ を用いて計算した場合にも得られた。

４．結論・考察　スロベニアにおいて地質学背景の異なる温帯落葉樹林帯から採取した土壌試料の炭素同位体分析を昨年度に引き続き行った．その結果、ドロマイトの露頭が存在するような石灰岩地帯 (P2) において、地表面付近に存在する植物は、降水や地下水による石灰岩の風化あるいは溶解平衡により生成した極めて古いCO_2を取り込み固定していた可能性があらためて示唆された[2]．本検討地域における地表の炭素循環過程を明らかにするために、今後、土壌空気のCO_2同位体分析を行うとともに、土壌構成成分（特に土壌有機物）の特性を考慮した詳細な検討が必要である．

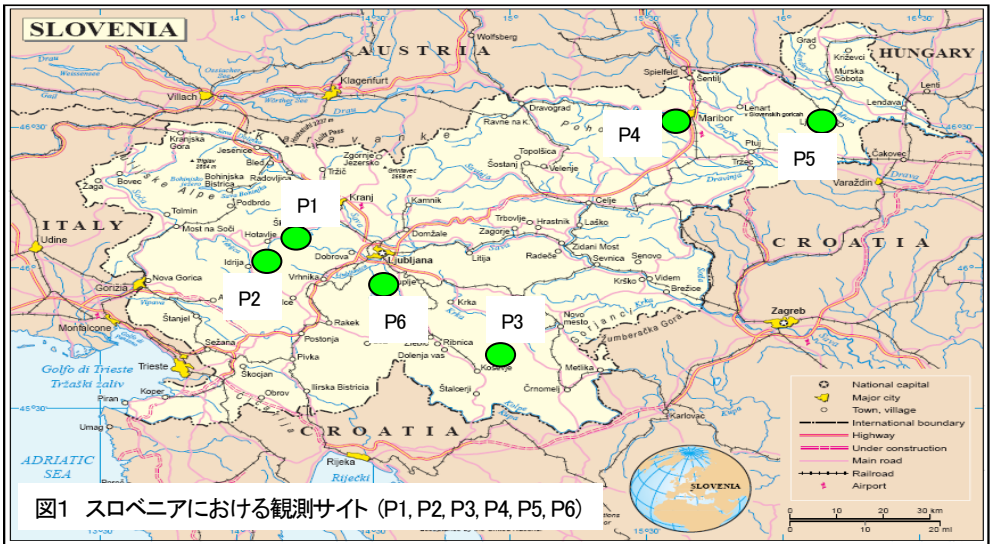

図1　スロベニアにおける観測サイト (P1, P2, P3, P4, P5, P6)

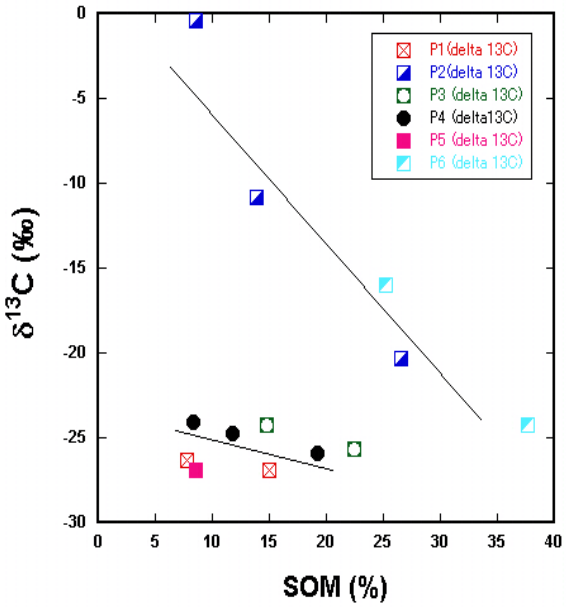

図 ３　土壌有機物含量と$\delta^{13}C$ の関係

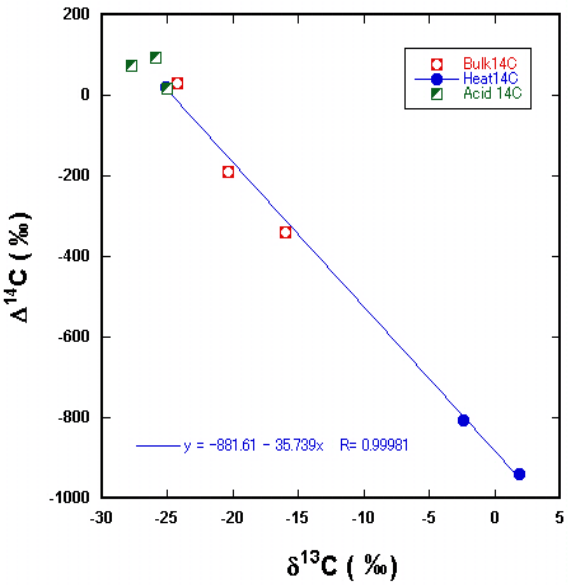

図 ４　炭酸塩土壌 (P2, P6)（バルク、熱・酸処理)の $\delta^{13}C$ と$\Delta^{14}C$ の関係

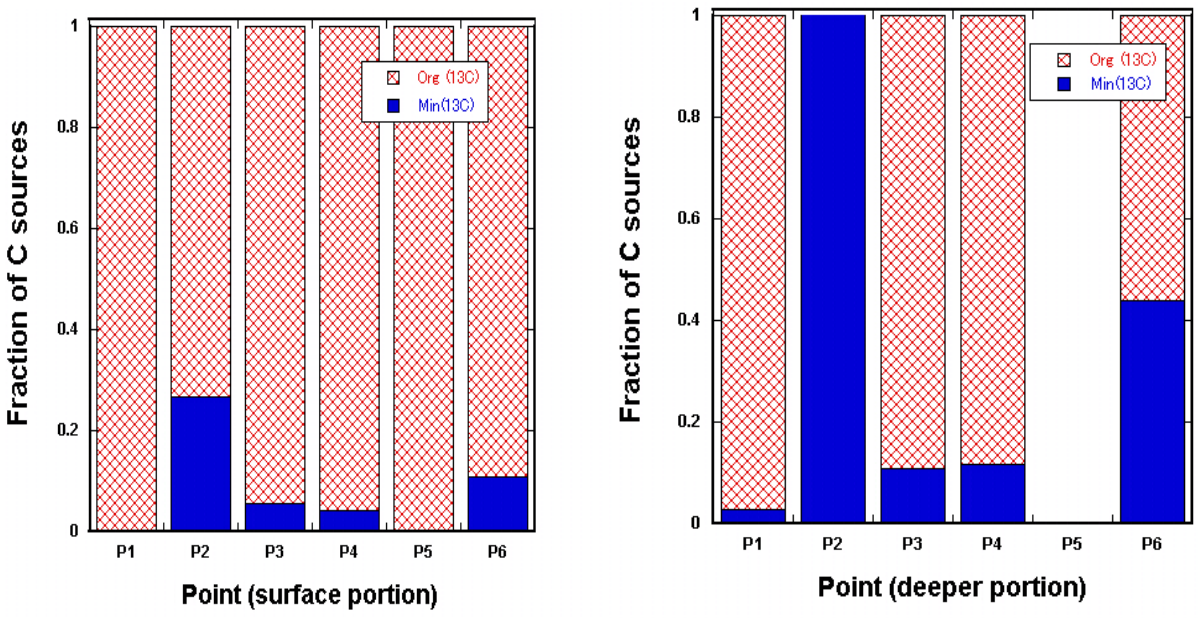

図５　観測サイト (P1, P2, P3, P4, P5, P6) における土壌炭素の起源推定 (有機態；メッシュ、炭酸塩；ぬりつぶし)
左：最表層部分 (0–5 cm)、右：深層部分 (30–35 cm)

表１　スロベニアにおける観測サイトの地質、位置および植生

サイト名	地名	位置	表層地質	植生	CO_2 (ppm)*
P1	ZIROVSKI VRH	46° 00′ N 14° 30′ E 482 m asl	シリカ破砕片、赤色砂岩	樫 (90 %)、 ブナ(10 %)	896
P2	IDRIJA	45° 55′ N 14° 00′ E 584 m asl	ドロマイト、石灰岩	ブナ	1889
P3	KOCEVSKI ROG	45° 40′ N 15° 00′ E 855 m asl	ドロマイト、石灰岩	ブナ天然林	1972
P4	URH (POHORJE)	46° 35′ N 15° 20′ E 858 m asl	変成岩	松 モミ	1037
P5	GORIŠNICA	46° 25′ N 16° 05′ E 251 m asl	第四期堆積物	ブナ（主要） 樫	2921
P6	RAKITNA	45° 50′ N 14° 30′ E 905 m asl	ドロマイト	ブナ（主要） 松	1332

＊ 深さ 30 cm における土壌空気中の CO_2 濃度（2009 年 11 月 24 - 29 日測定）.

表２　土壌炭素同位体分析結果

試料	$\delta^{13}C$ (vs PDB) (‰)	$^{14}C/^{12}C$ ($\times 10^{-14}$) ± error ($\times 10^{-15}$)	
P2-0a	-27.78	109.48	3.4
P2-25b	-10.83	48.457	2.4
P2-35a	-14.21	48.011	2.3
P2-35h	3.99	366.09	0.85
P4-35b	-24.06	79.225	2.9
P5-0b	-26.9	106.98	3.3
P6-0b	-24.52	1048.6	3.3
P6-0h	-2.43	19.791	1.5
P6-0a	-25.93	1112.7	3.5
P6-25b	-16.01	67.326	2.7
P6-25h	-25.14	1037.9	3.3
P6-25a	-25.07	1035.7	3.3
バックグラウンド	測定日：2010 年 10 月 26 - 28 日 Background $^{14}C/^{12}C$: 1.5905×10^{-15} ± 1.379×10^{-16} Modern $^{14}C/^{12}C$ 比: 1.0189×10^{-12} ± 2.4×10^{-15}		
標準物質	標準物質:	pMC	$\delta^{13}C$ (vs PDB)
	IAEA-C1-AO	0.20 ± 0.02	2.54
	IAEA-C6-EK	149.59 ± 0.54	-10.33
	IAEA-C6-EL	148.92 ± 0.54	-10.36
	IAEA-C6-EN	149.05 ± 0.54	-10.36

５．引用文献

1) Mayorga E., Aufdenkampe A.K., Masiello C.A., Krusche A.V., Hedges J.I., Auay P.D., Richey J.E., Brown T.A., Young organic matter as a source of carbon dioxide outgassing from Amazon Rivers, Nature 436(28), 538-541 (2005).

2) 藤吉亮子、天野光、作田陽佑、岡本一将、住吉孝、Ivan Kobal, Janja Vaupotič、 スロベニア森林土壌中の安定および放射性炭素同位体、第 13 回 AMS シンポジウム (AMS 13), 山形大学 (2011).