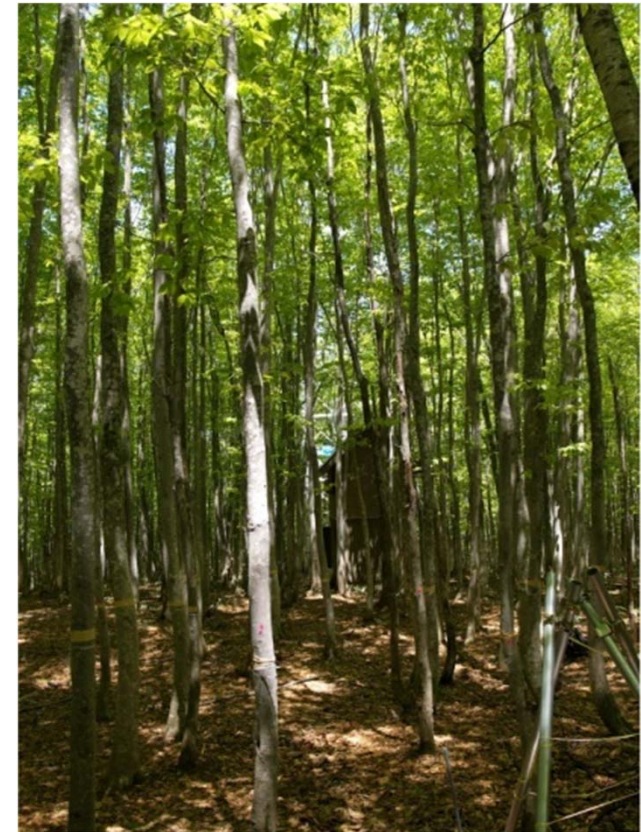


陸域生態系における炭素循環 に関する研究

地球環境問題の解決に貢献するために、放射性炭素 (^{14}C) の環境中での分布や動きに着目した観測・実験や、数値シミュレーションモデルの開発・利用を通して、以下を解明することを目指して研究に取り組んでいます。

- ① 陸域(特に森林土壌)での炭素動態
- ② 炭素動態を規定する要因・プロセス
- ③ それらの地球環境変化との相互作用

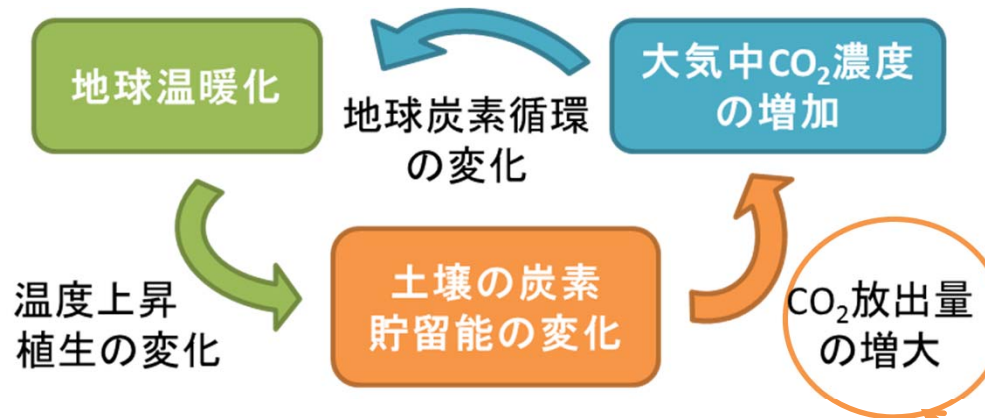


日本原子力研究開発機構

小嵐 淳

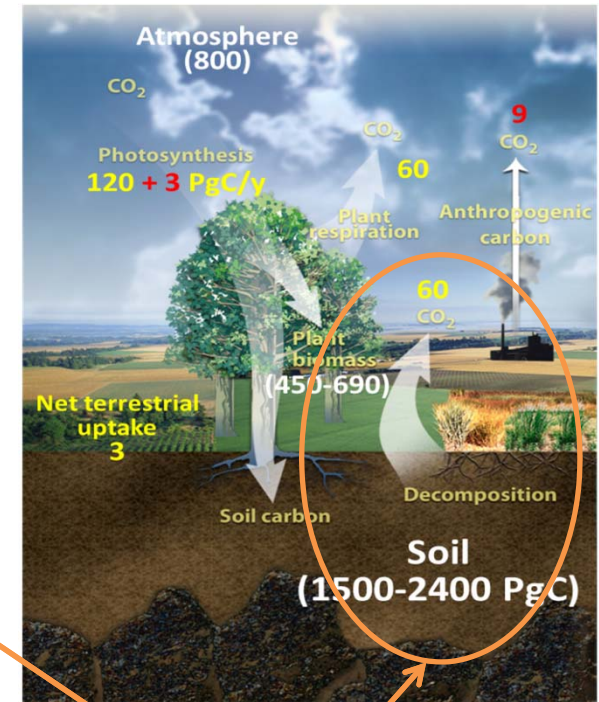
炭素循環と地球環境変化

炭素循環と地球環境の相互作用



正のフィードバック効果

温暖化による温度上昇は、土壌有機物の分解を促し、土壌からの炭素放出量の増大によって、さらなる温暖化を引き起こす可能性が危惧



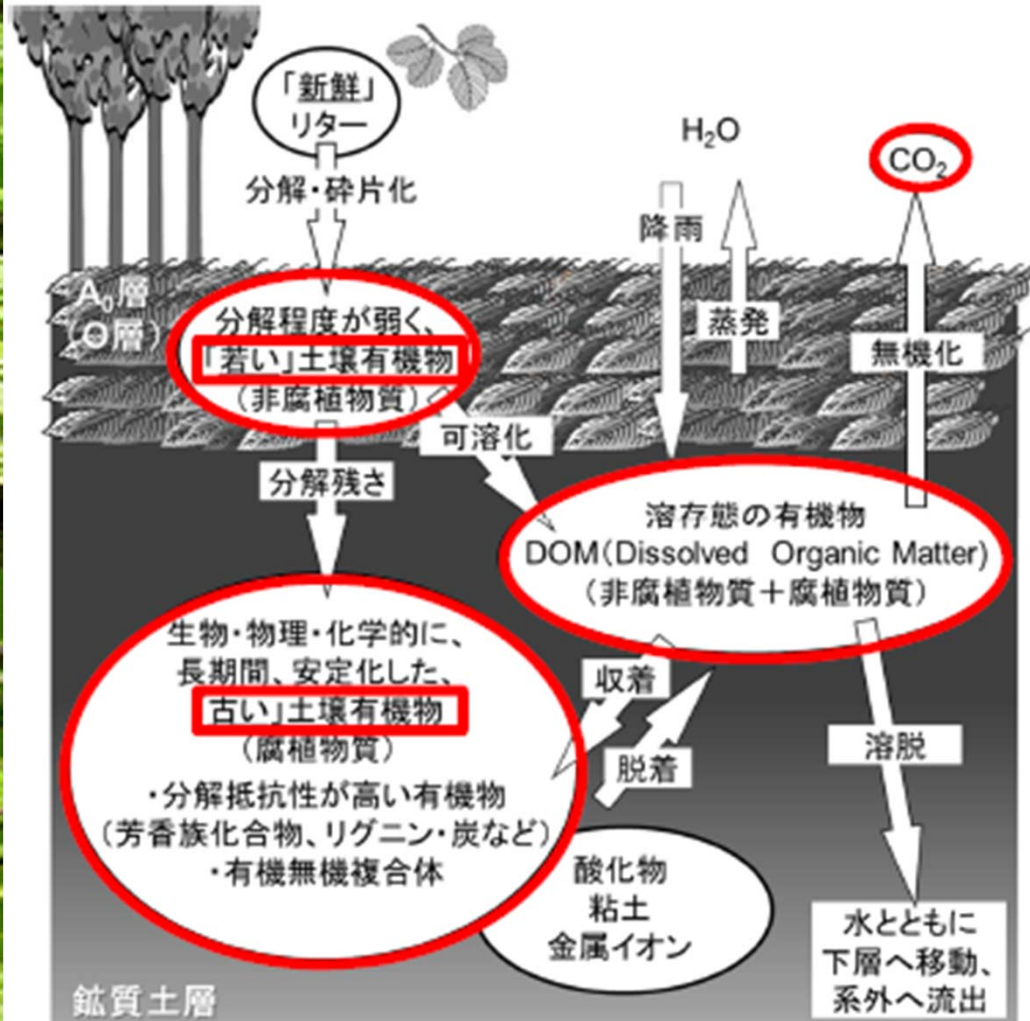
タイミングや規模、炭素循環全体への影響の程度は不明

ニーズ

炭素循環に関する科学的理解の深化とそれに基づく地球環境変化の予測

森林生態系における炭素の動態

森林では、炭素がどのように動いて(留まって)いるのか？



従来の研究手法 (炭素を測定する方法)

貯留量や移動量は調べることができる。

我々の研究手法

¹⁴Cを利用することにより、炭素が動く(留まる)時間スケールを解明できる。

小野ら、第123回日本森林学会大会 (2011)

放射性炭素 (^{14}C) の特徴と起源

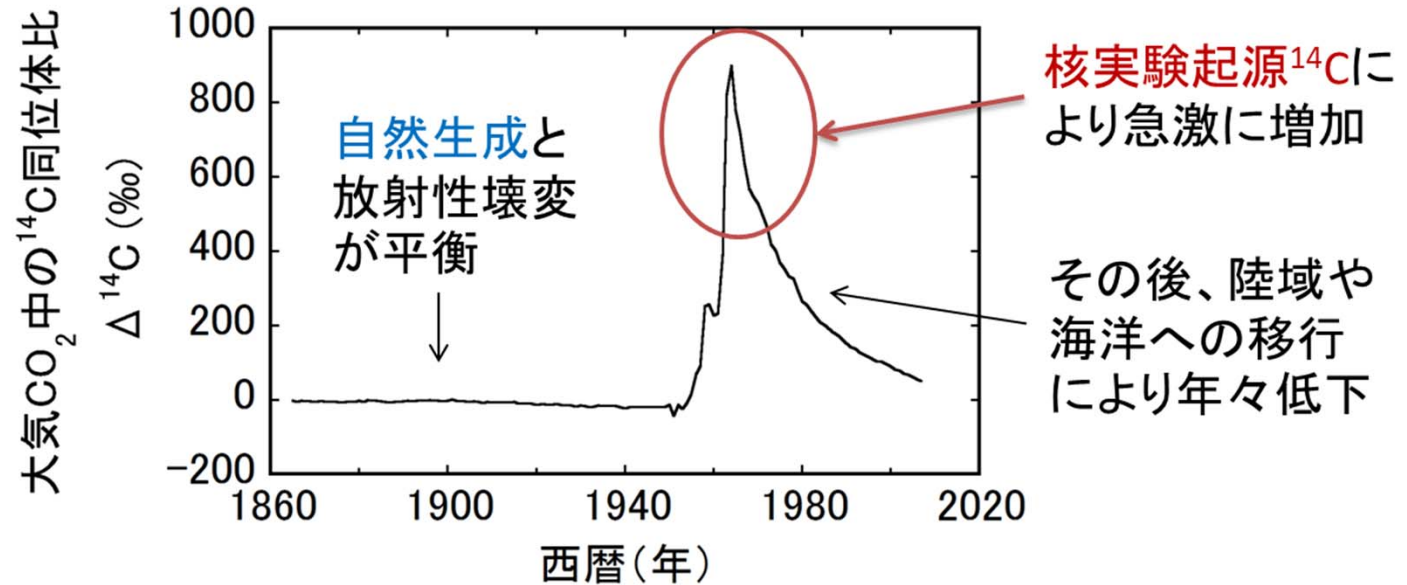
主な特徴

- 炭素の放射性同位体
- 半減期: 5730年
- 自然界の存在割合: ^{12}C (98.9%)、 ^{13}C (1.1%)、 ^{14}C ($10^{-100}\%$)
→ ^{12}C と同じように動く(光合成、土壌有機物、分解、 CO_2 ・・・)

主な起源

- **自然起源 ^{14}C**
宇宙線により大気圏上層で恒常的に生成
- **核実験起源 ^{14}C**
主に1951～1962年に集中して大気圏内で生成

大気中の ^{14}C 同位体比の変化



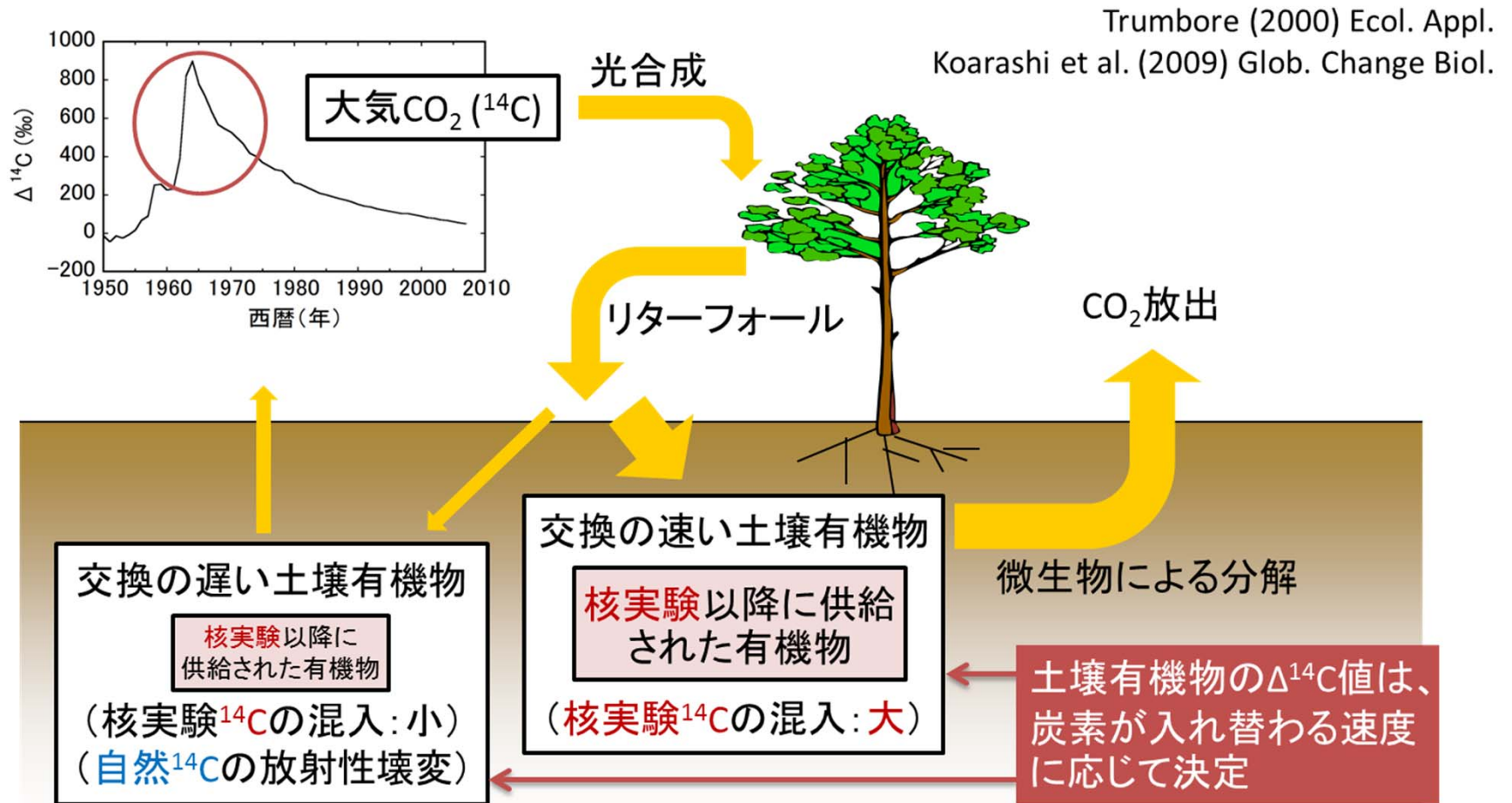
大気 CO_2 中の ^{14}C 同位体比の変化

^{14}C 同位体比の表記法: $\Delta^{14}\text{C}$ 値

1950年の大気 CO_2 の ^{14}C 同位体比との差を千分率で表した値(単位:‰)

- ・ $\Delta^{14}\text{C} < 0$ ‰: 放射性壊変の結果を反映。値が低いほど古い炭素
- ・ $\Delta^{14}\text{C} > 0$ ‰: **核実験起源 ^{14}C** の混入。1950年以降の大気 CO_2 を起源とする炭素を含む。

核実験起源 ^{14}C のトレーサー利用の原理



土壌有機物の $\Delta^{14}\text{C}$ 値を調べることで、分解特性を定量化できる

加速器質量分析 (AMS) による¹⁴Cの測定

① 試料

固体 (土壌)

気体



燃焼・CO₂化

④ 加速器質量分析装置による¹⁴C測定



< 2 mgの炭素量で¹⁴C同位体比を測定できる！

② CO₂分離・精製・回収



③ グラファイト化

CO₂からグラファイト
を作成
(Fe触媒、H₂還元法)

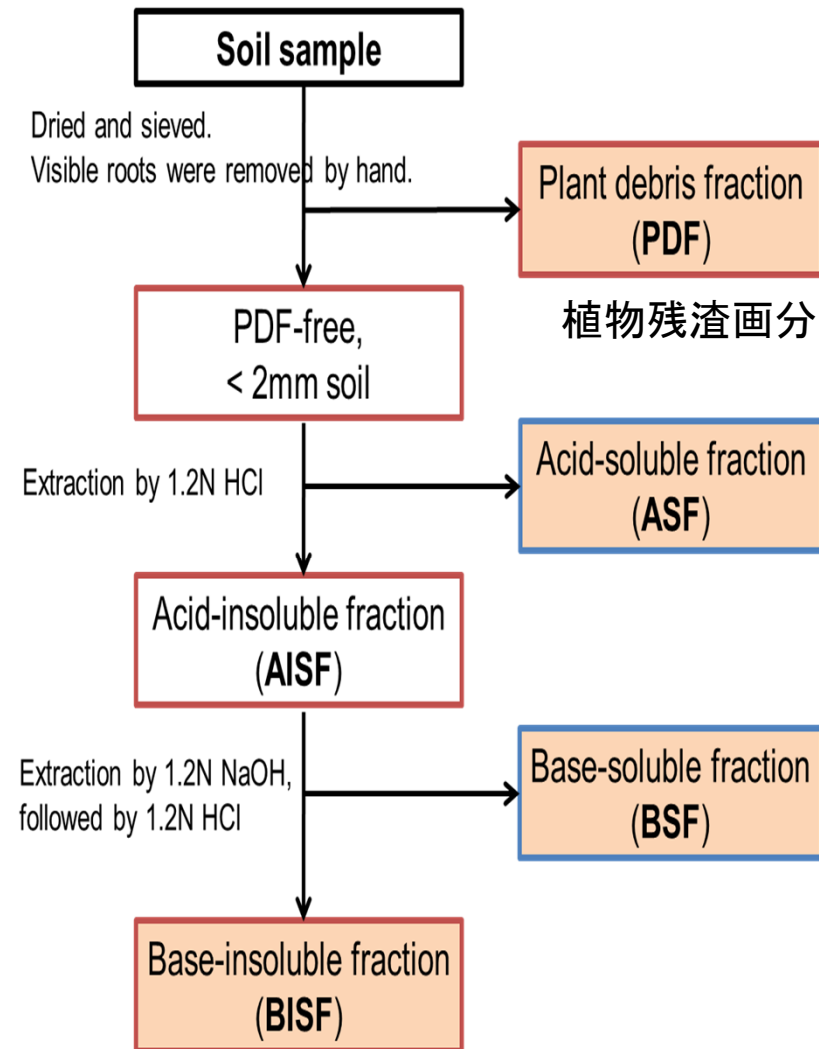
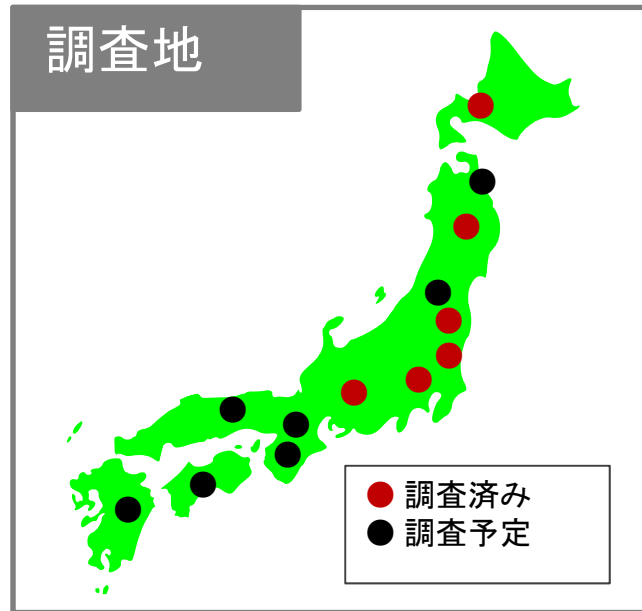


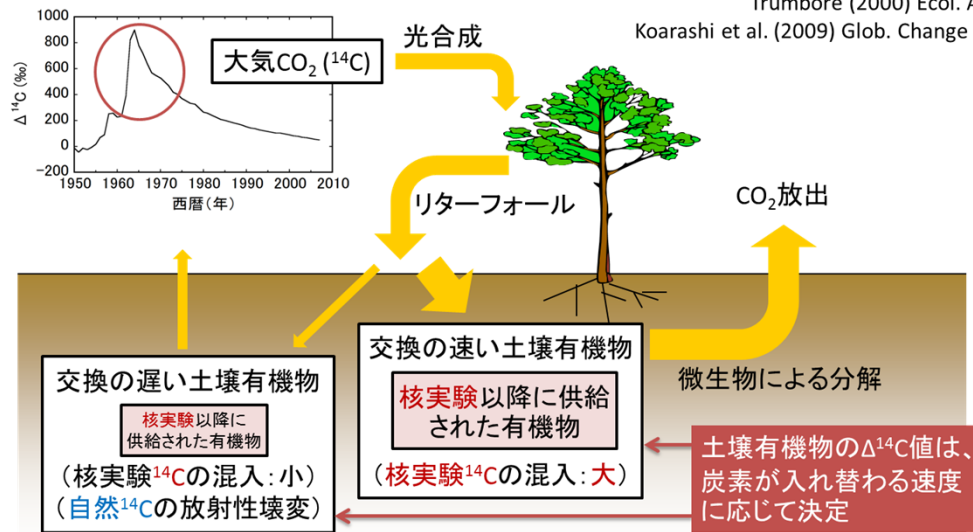
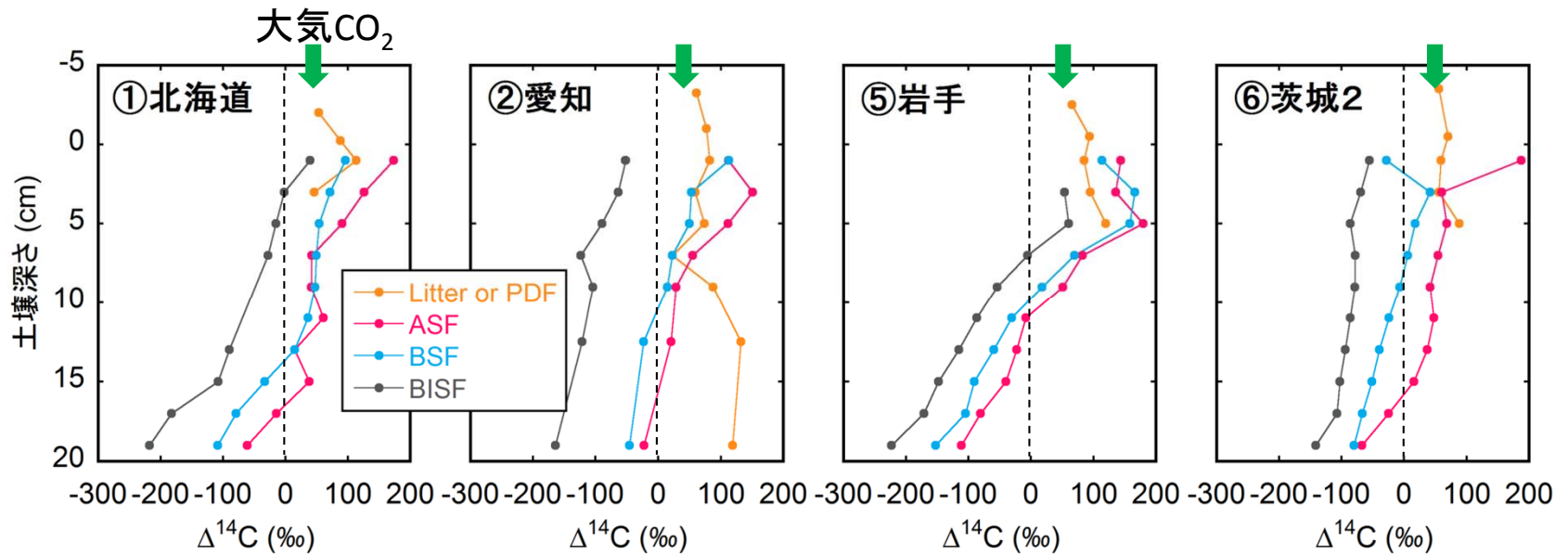
試料ターゲット

研究事例の紹介

- ① 森林表層土壌有機物の多様な分解性を解明
- ② 土壌呼吸 (CO₂フラックス) の起源を分離
- ③ 土壌中の水溶性有機炭素の動態を解明
- ④ 細根の¹⁴C同位体比が示すこと
- ⑤ 下層土壌の地球炭素循環への関与を発見
- ⑥ 土壌炭素動態モデルの開発と利用
- ⑦ 森林溪流における有機炭素の流出を観測

① 森林表層土壤有機物の多様な分解性を解明





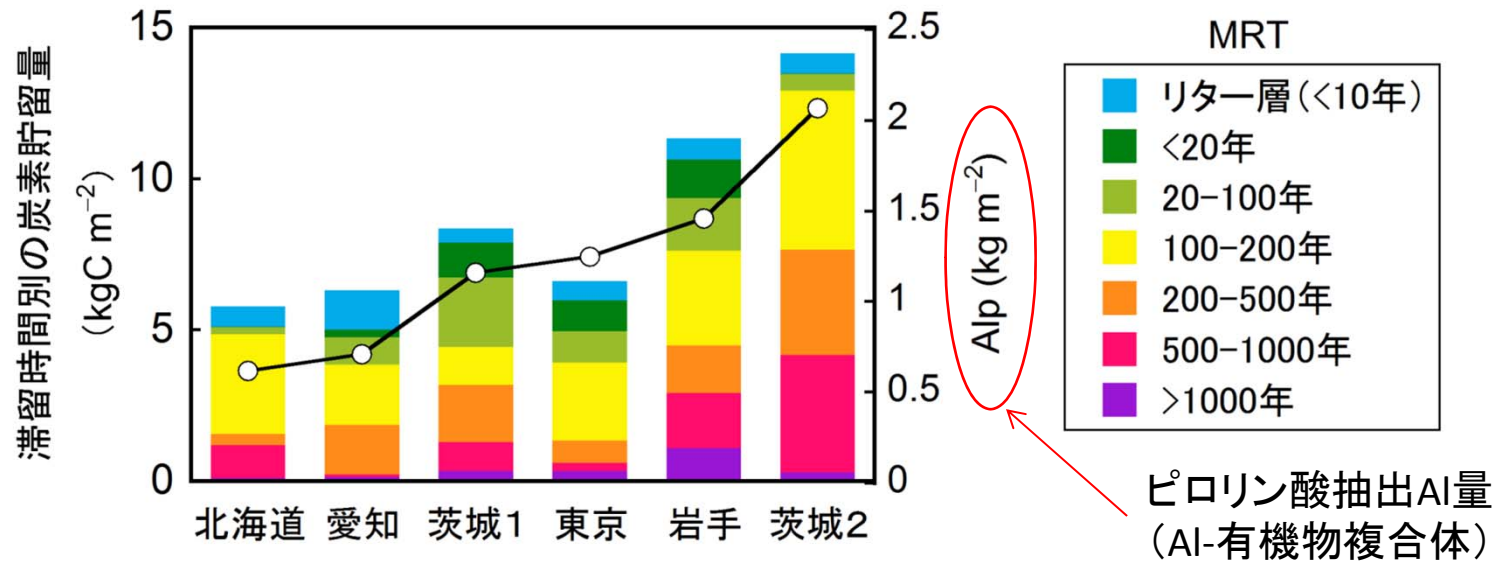
土壌有機物の $\Delta^{14}\text{C}$ 値を調べることで、分解特性を定量化できる

平均滞留時間の推定

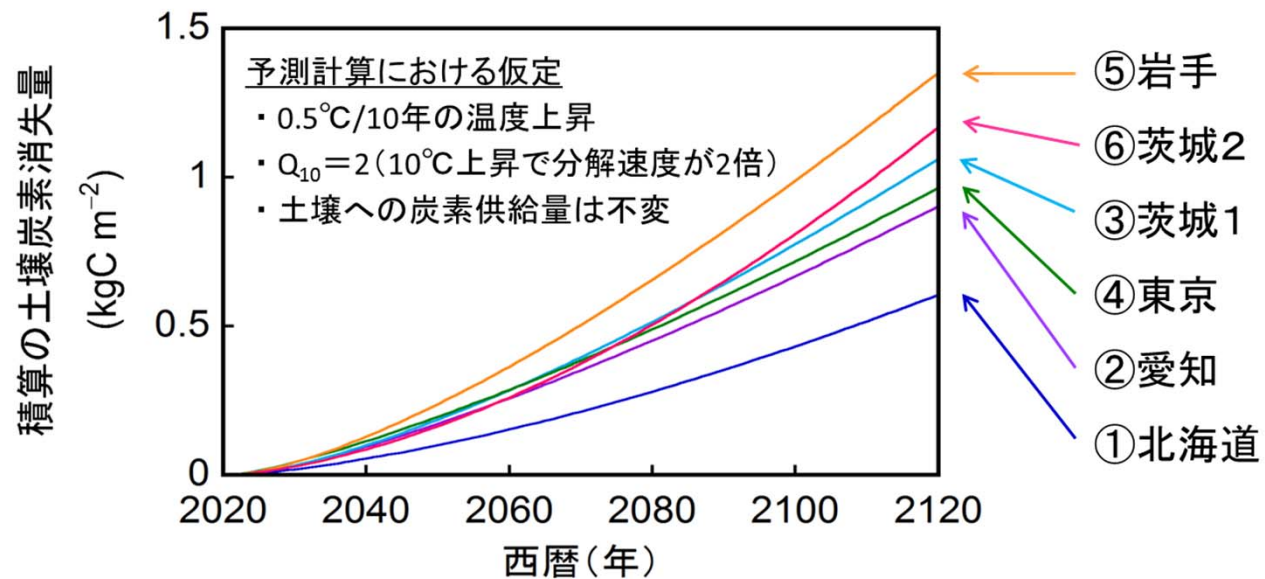
炭素と¹⁴Cの土壌への供給
及び土壌有機物の分解を
モデル化

→ 土壌有機物の $\Delta^{14}\text{C}$ 値と
平均滞留時間(MRT:分解
速度の逆数)の関係を導く。

土壌有機物の多様な分解性を「滞留時間別の炭素貯留量」として見える化

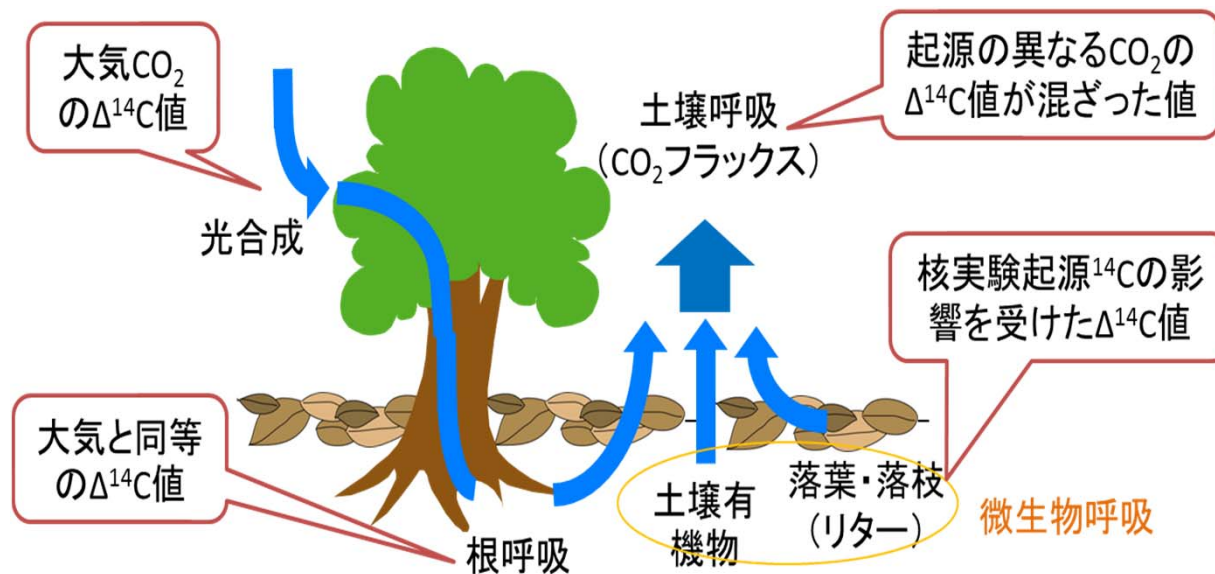


土壌有機物の分解を考慮して、土壌炭素の温暖化に対する応答を予測



② 土壌呼吸 (CO₂フラックス) の起源を分離

各起源の¹⁴C同位体比の違いを利用して、土壌呼吸起源を分離する



CO₂フラックスのマスバランス: $F_{\text{root}} + F_{\text{SOM}} + F_{\text{litter}} = F_{\text{total}}$

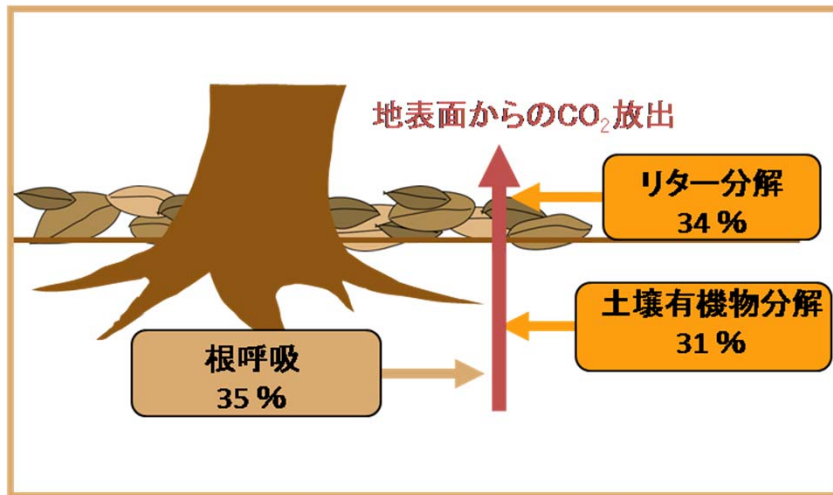
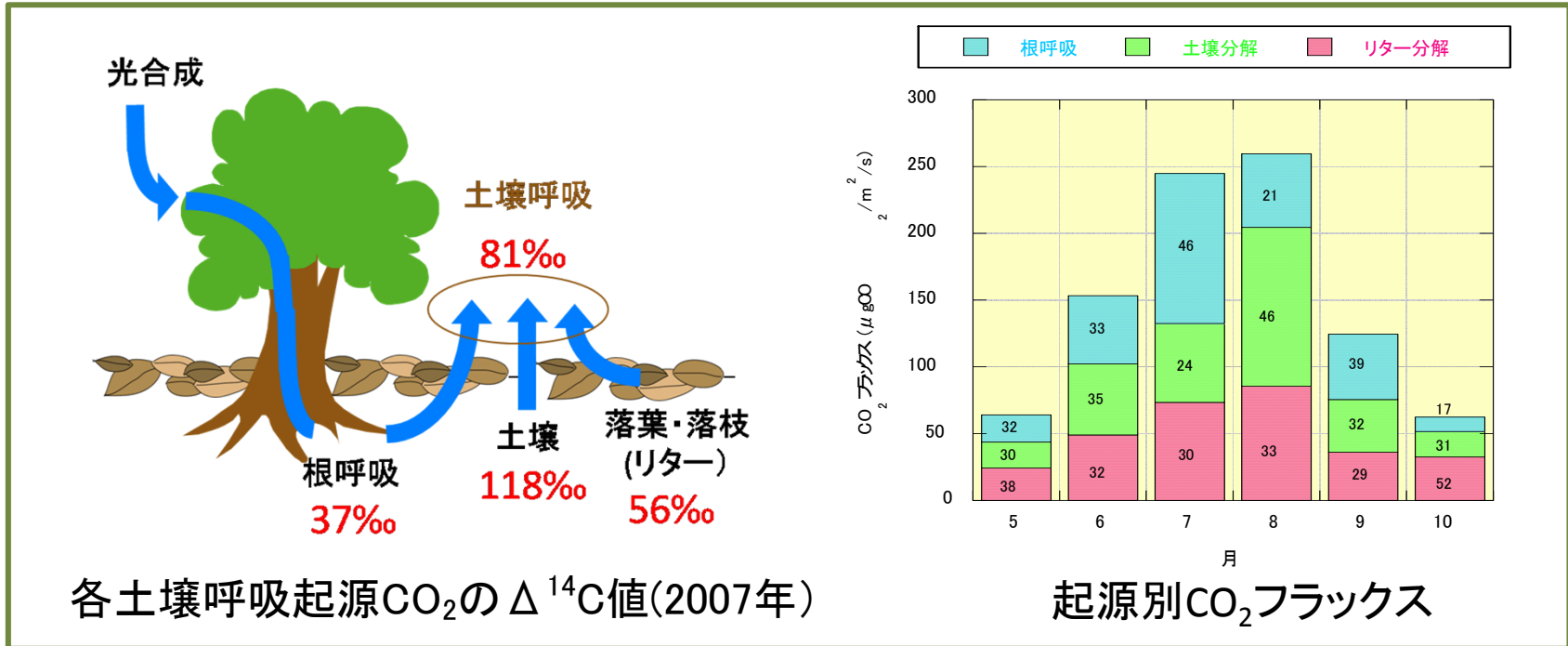
密閉チャンバー法で測定

¹⁴Cのマスバランス: $\Delta^{14}\text{C}_{\text{root}} \cdot F_{\text{root}} + \Delta^{14}\text{C}_{\text{SOM}} \cdot F_{\text{SOM}} = \Delta^{14}\text{C}_{\text{total-litter}} \cdot (F_{\text{total}} - F_{\text{litter}})$

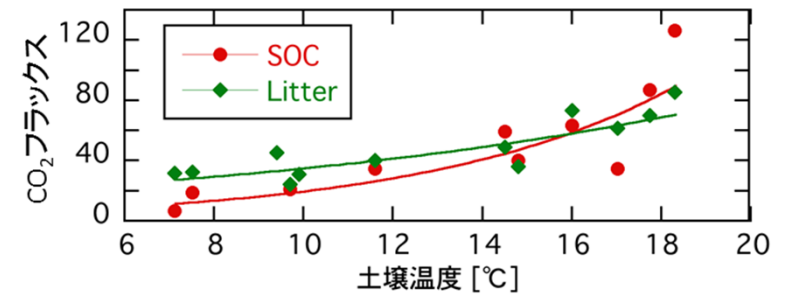
大気中と同じ

土壌有機物の
¹⁴C分布から推定

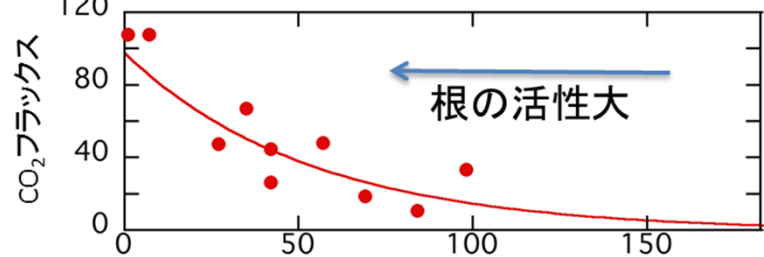
リターを除いた状態で
密閉チャンバー法で測定



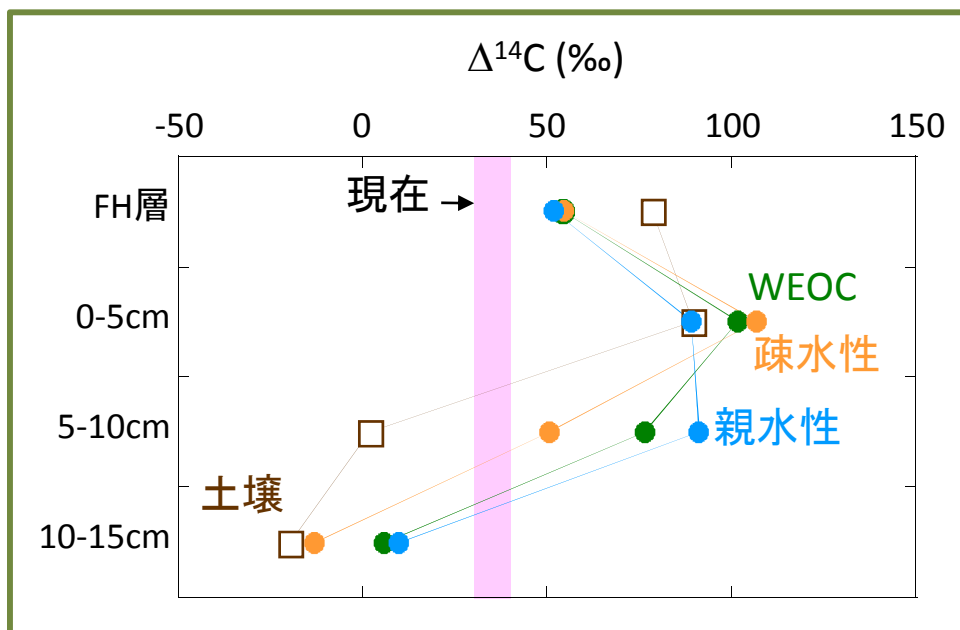
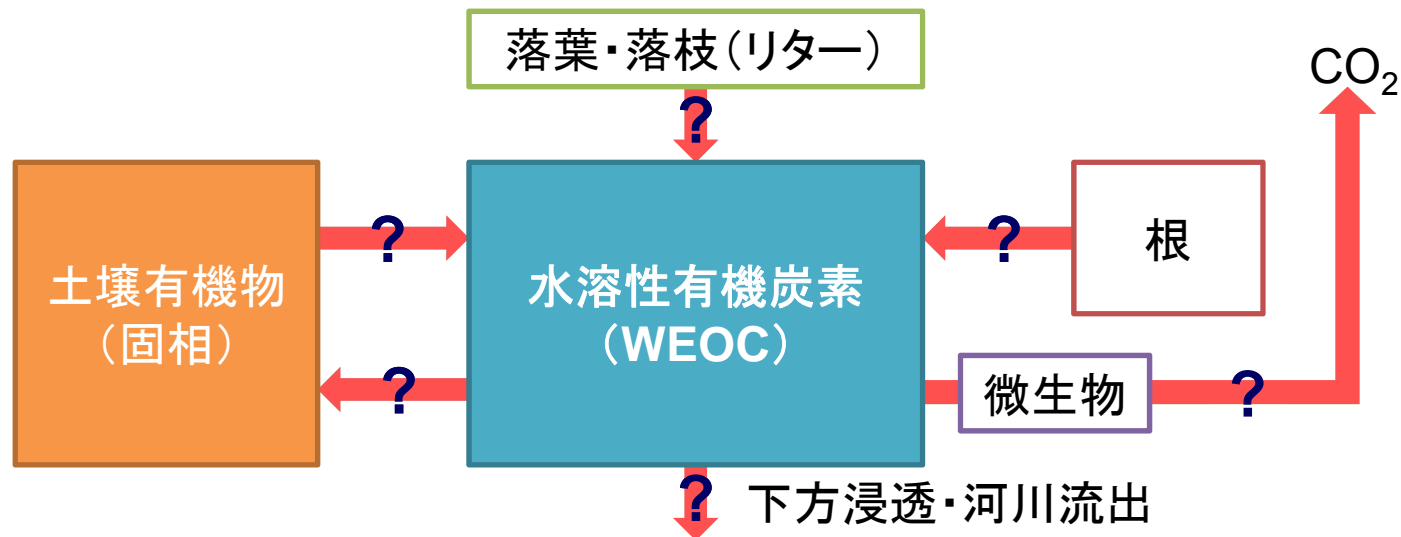
微生物分解によるCO₂放出速度と地温との関係



根呼吸と根の活性の指標との関係



③ 土壌中の水溶性有機炭素の動態を解明

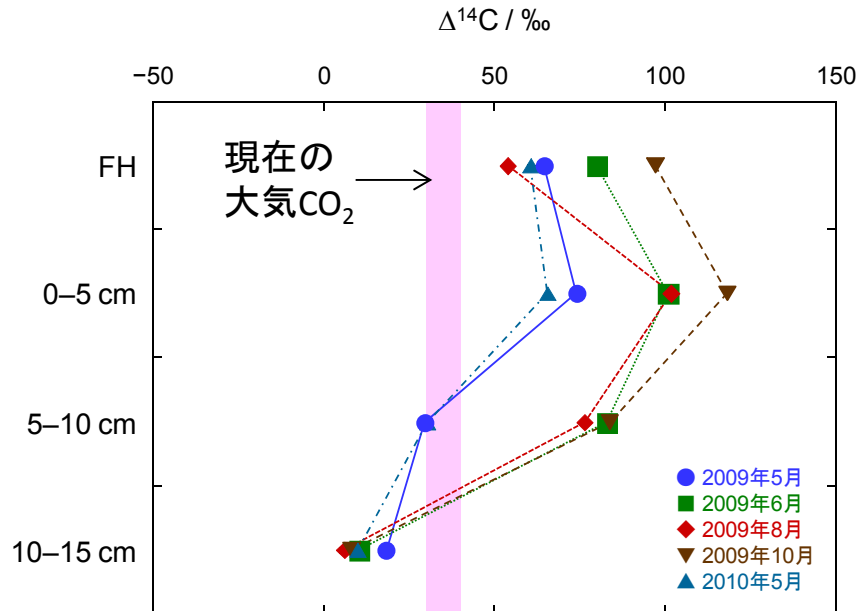


WEOCの $\Delta^{14}\text{C} >$ 大気CO₂の $\Delta^{14}\text{C}$

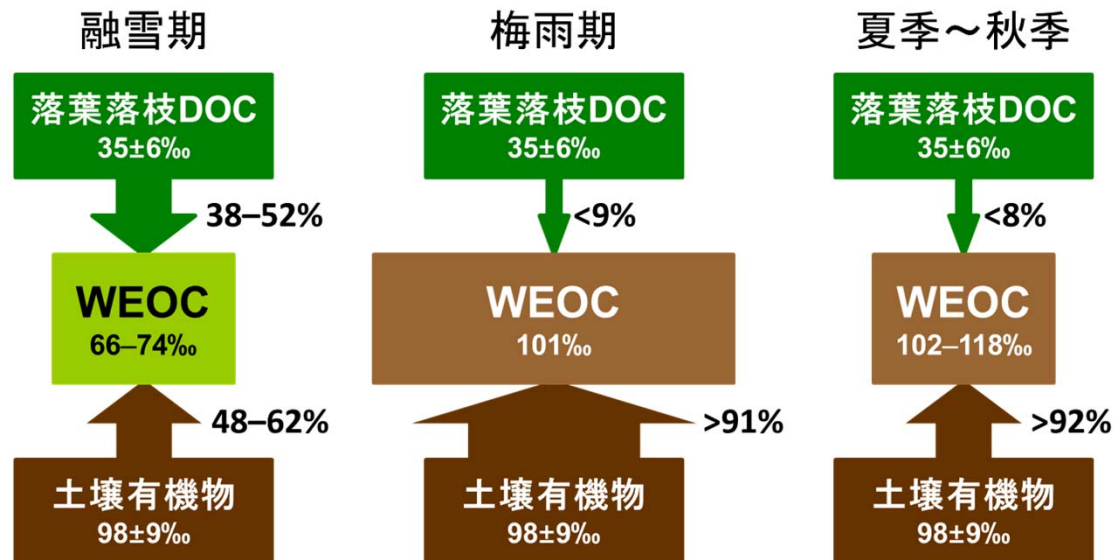
近年堆積した森林表層リターの分解による浸出ではなく、数十年以上の滞留時間を持つ土壌有機物から生成

Nakanishi et al. (2012) Eur. J. Soil Sci.

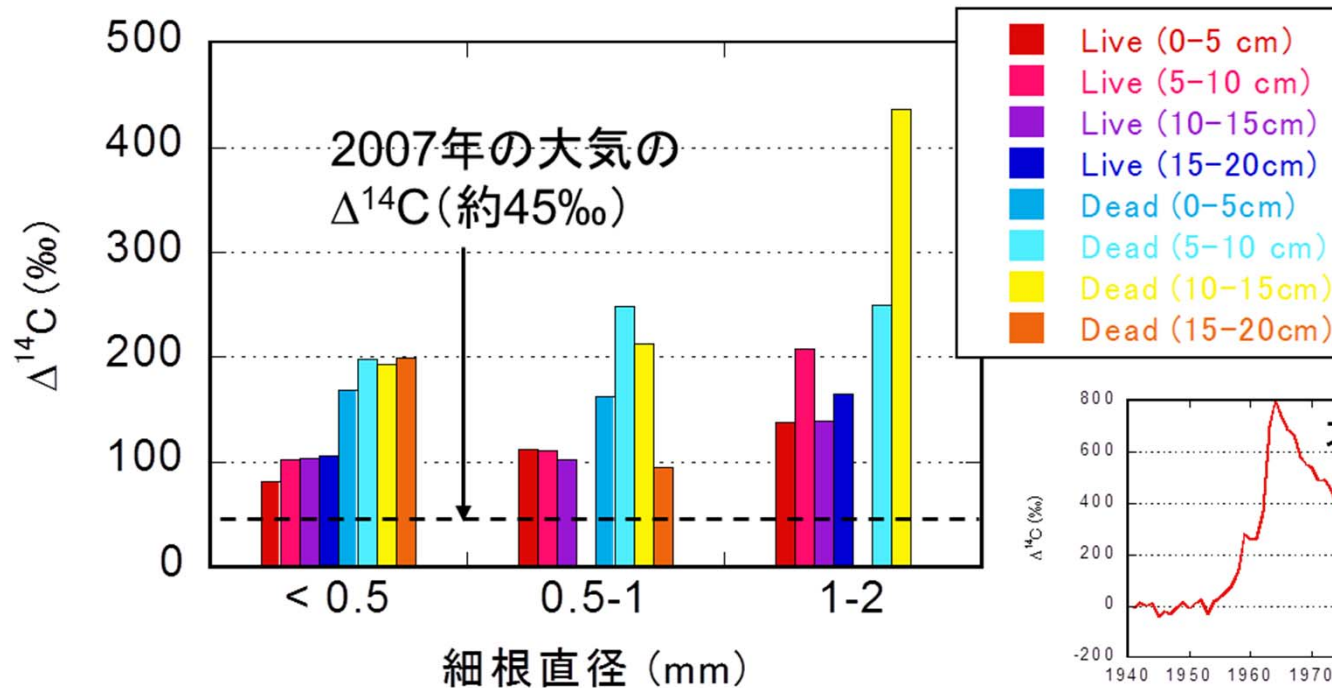
WEOCの起源は季節によって大きく変化する



- 融雪期は、雪解け水による落葉・落枝起源DOCの影響が大きい
- 梅雨期から秋季まで、WEOCの主要な起源は土壌有機物であるが、微生物活動に伴う濃度の季節変化がある
- 四季のある日本においては、WEOC動態は季節依存性が高い



④ 細根の ^{14}C 同位体比が示すこと



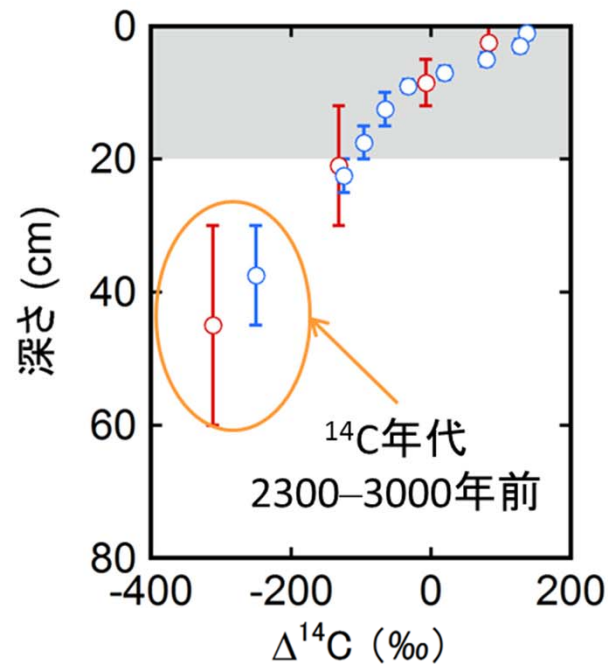
生根の $\Delta^{14}\text{C}$ 値は、5~20年前の大気中 CO_2 の $\Delta^{14}\text{C}$ 値と同等

→ 細根の寿命(ターンオーバー)が想定以上に長いか、
植物体内に貯留した炭素により形成

⑤ 下層土壌の地球炭素循環への関与を発見

下層土壌の有機物の「 ^{14}C 年代」は、通常、数千年前。

→ 長期にわたって隔離(安定化)され、地球炭素循環への寄与は小さい。



土壌有機物は多様なMRTの有機物で構成

	MRTの短い 炭素プール	MRTの長い 炭素プール	全体
炭素量	4 kg	6 kg	10 kg
$\Delta^{14}\text{C}$ 値	+50‰	-400‰	-220‰
^{14}C 年代	Modern	約4000年前	約1900年前

“現在”の土壌全体に対する ^{14}C 年代情報は土壌有機物の動態を的確に表さない。

「土壌全体の ^{14}C 年代が古い」

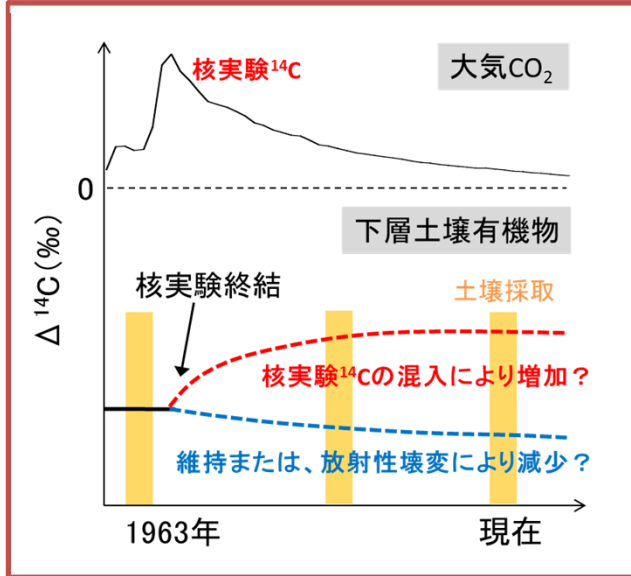
≠「MRTの短い炭素が存在しない」

仮説

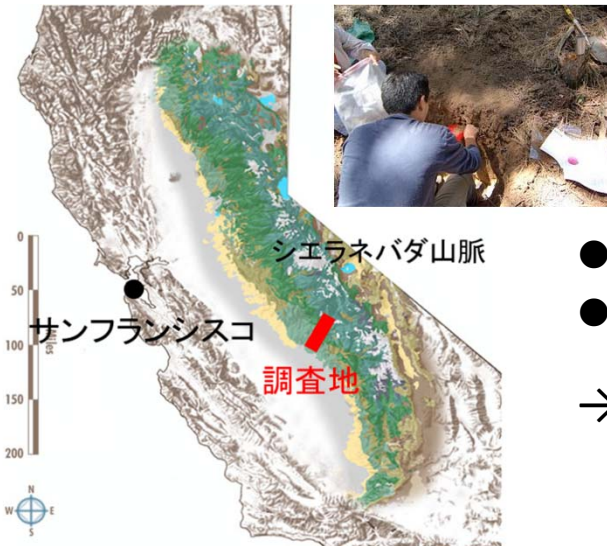
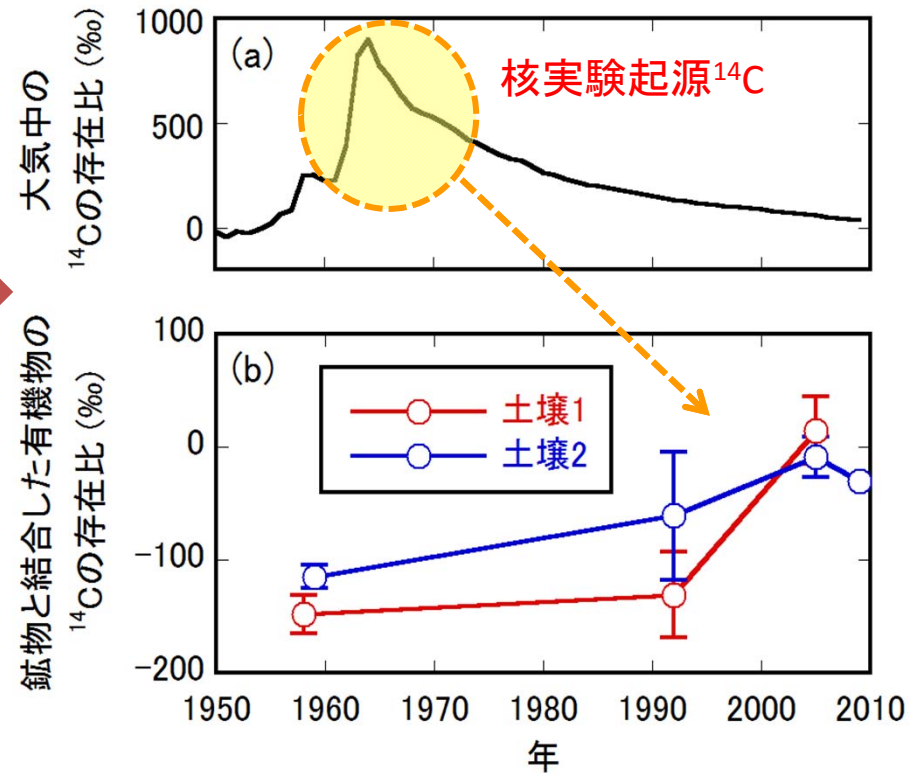
下層土壌にも、MRTの短い(速く代謝回転する)炭素が存在している可能性がある！？

核実験起源¹⁴Cの混入による土壌有機物の $\Delta^{14}\text{C}$ 値の“変化”に着目

下層土壌に数十年程度で入れ替わる炭素が相当量存在するならば、¹⁴C年代は古くても、1960年以降に、核実験¹⁴Cの混入により $\Delta^{14}\text{C}$ 値が増加しているはず。



検証



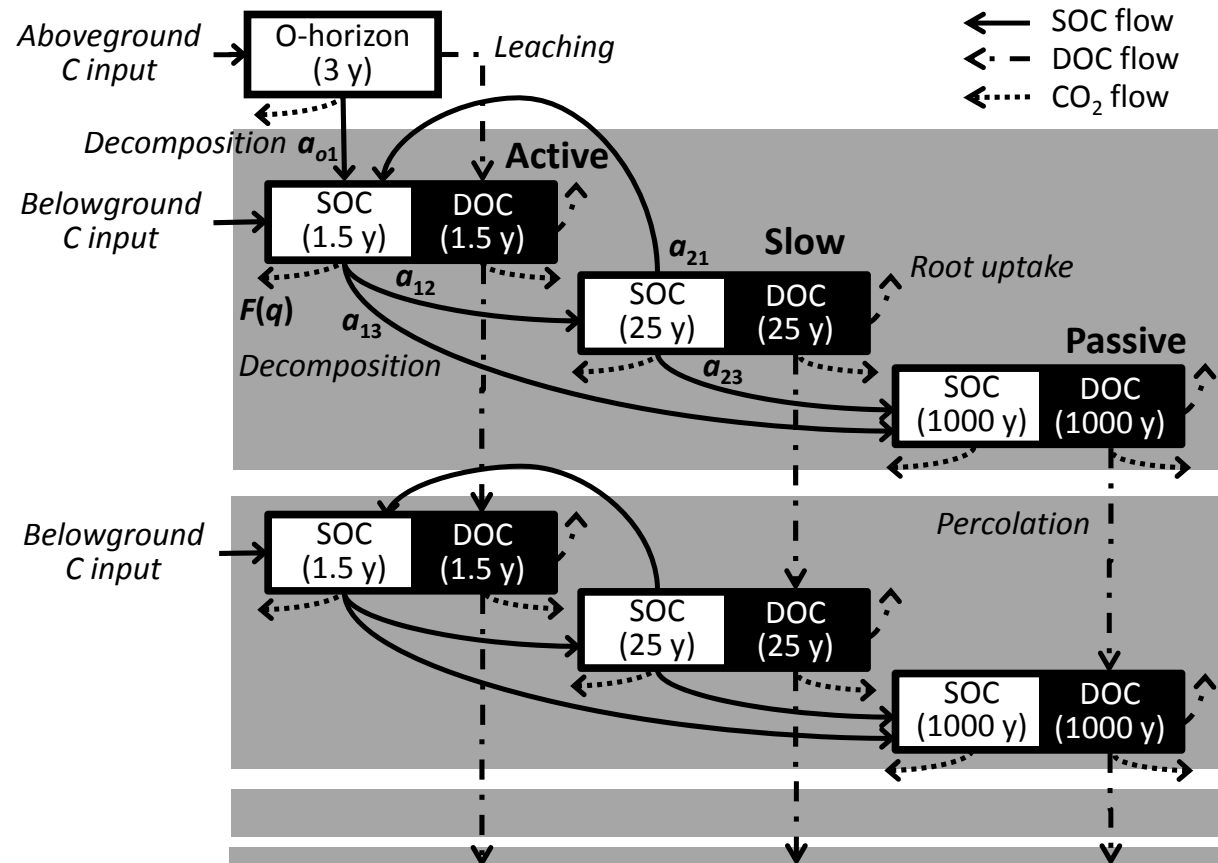
- ¹⁴C同位体比が核実験以降に増加
 - 増加は大気中の増加よりも20年以上遅れて出現
- 数十年程度で入れ替わる炭素が相当量存在し、その貯留量は環境変化に対して遅れて影響を受ける

Koarashi et al. (2012) J. Geophys. Res.

⑥ 土壌炭素動態モデルの開発と利用

陸面水循環に伴う、土壌中の深さ方向の炭素移行を考慮

- ◆ 地上リター(落葉等)及び地下リター(根の枯死等)による炭素供給
- ◆ SOC(固相中有機炭素)間のDOC(溶存有機炭素)の吸脱着挙動
- ◆ 土壌中鉛直水フラックスに伴うDOCの移行
- ◆ 土壌有機物の分解: 分解性の異なる3つの炭素プールを考慮 (Parton et al., 1987)



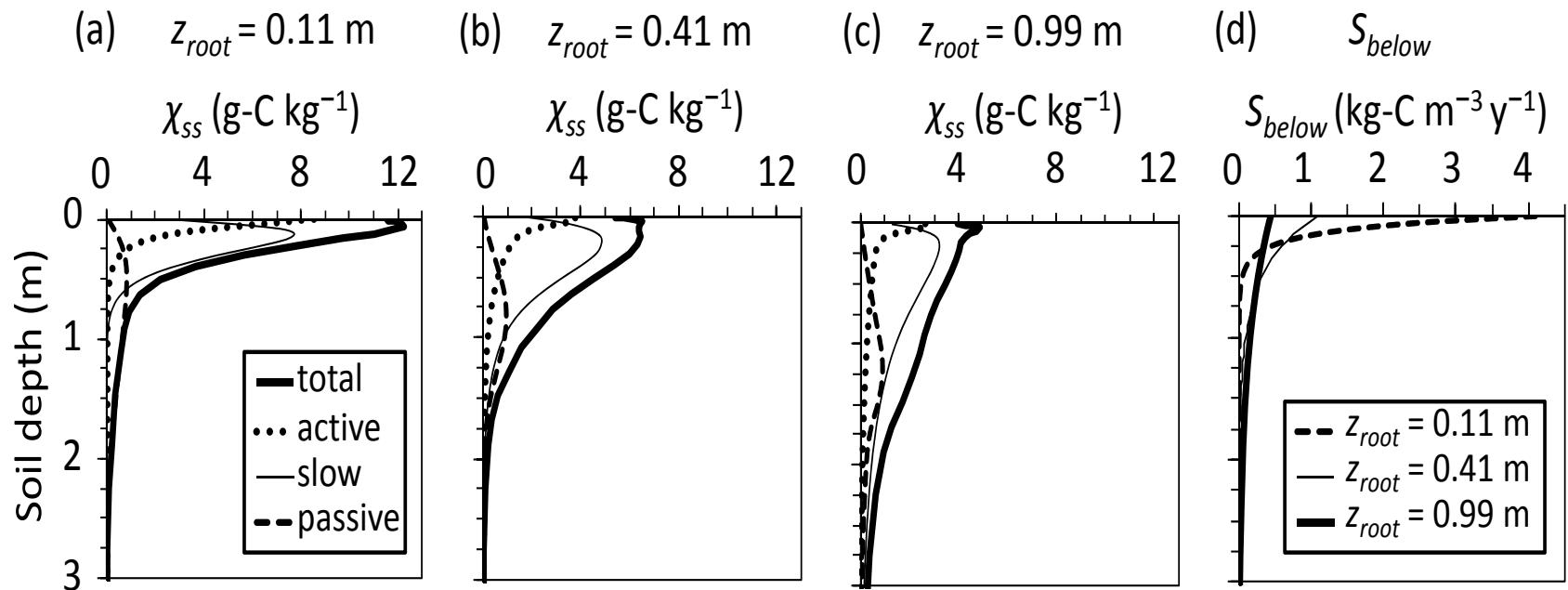
Ota et al. (2013) J. Geophys. Res.



根の深さ分布が異なる森林土壌に対して、下層土壌における滞留時間別（炭素プール別）の炭素貯留量をシミュレーション解析

- ◆ 根の深さ分布により、土壌中の炭素貯留プロファイルが異なる。
- ◆ 下層土壌炭素の39-73%が数10年で分解される成分によって構成

→ 下層土壌が貯留する炭素の量は、気候変動や生態系の変化、土地利用形態の変化によって、大きく変化する可能性を示唆



⑦ 森林溪流における有機炭素の流出を観測

所在地	茨城県北茨城市
流域面積	0.6 km ²
標高	588-724 m
河川主流長	1.7 km
植生	落葉広葉樹林

