

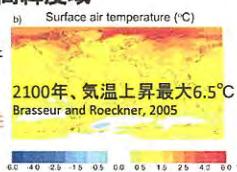
本研究課題が目指すもの

背景

近年の地球温暖化に伴う気候変化が自然界のフィードバックを介して最も顕著に現れるのが、北極圏およびその周極地域である。様々な気候モデルにおいても、将来の気候変化、CO₂濃度上昇の下で、土壌圏は、高い正のフィードバック効果を持つと予測されている。しかし、現在のモデル予測では、土壌圏の応答に関しては、なお**大きな不確実性**を伴っており、**土壌圏の温暖化影響予測モデルの開発とその高精度化に向けた観測データの蓄積が急務とされている** (IPCC第4次評価報告書, 2010)。

北極高緯度域

2071-2100年における温暖化による気温上昇の影響最大

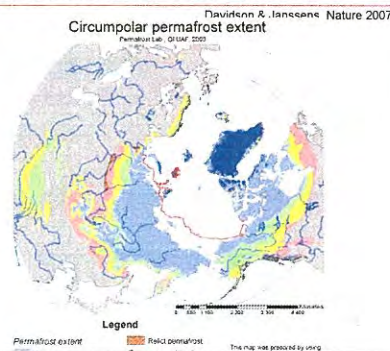


気候変動による脆弱性評価必要 (IPCC第4次評価報告書)

●**土壌圏**: 土壌炭素の多くが集中 (約1600GtC、大気の約2.1倍)

アラスカ、地質時代から有機炭素が累積:氷期を含め過去200万年間、大陸氷床存在せず!

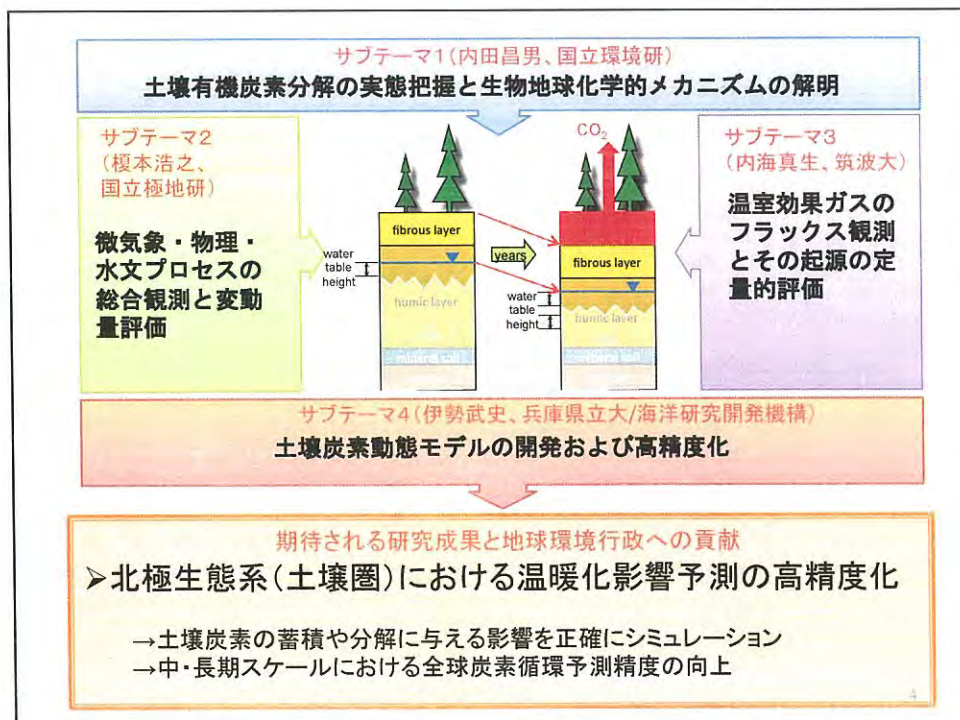
永久凍土面積: 21世紀半ばまでに20~35%減少 (IPCC第4次報告書)

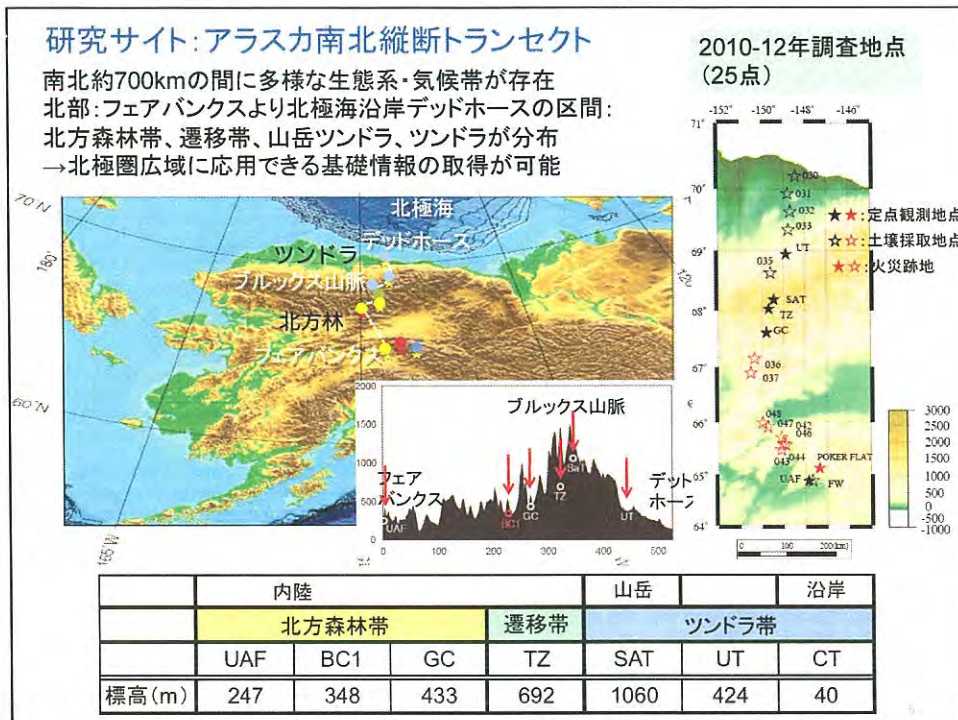


研究開発目的

北極高緯度土壌における土壌有機炭素動態を長・中期的に予測するための観測とモデルの開発を実施する。

- 土壌圏の炭素動態（蓄積・分解）実態解明のための物理・化学データの取得と微気象観測を実施（サブ1, サブ2, サブ3）
- 高緯度域特有の物理・生物地球化学的プロセスを含めた土壌炭素動態モデルの開発と高精度化（サブ4）



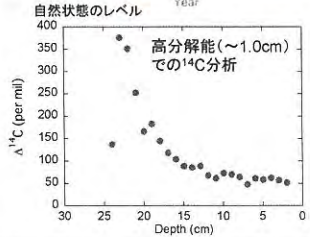
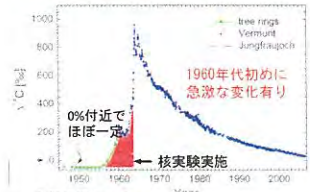


サブテーマ1 土壌有機炭素蓄積・分解の実態把握とそのメカニズムの解明 (内田・国立環境研究所)

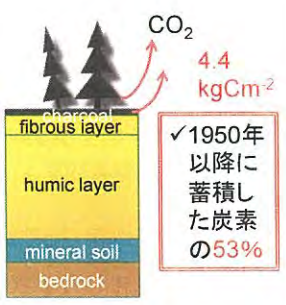
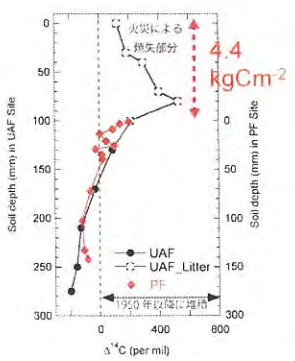
^{14}C (半減期半減期5730年):
 近過去60年、および半減期5730年を利用した数百年~数千年スケールの平均滞留時間と土壌への炭素供給量の推定が可能
 ←モデルへの強力なパラメーター提供

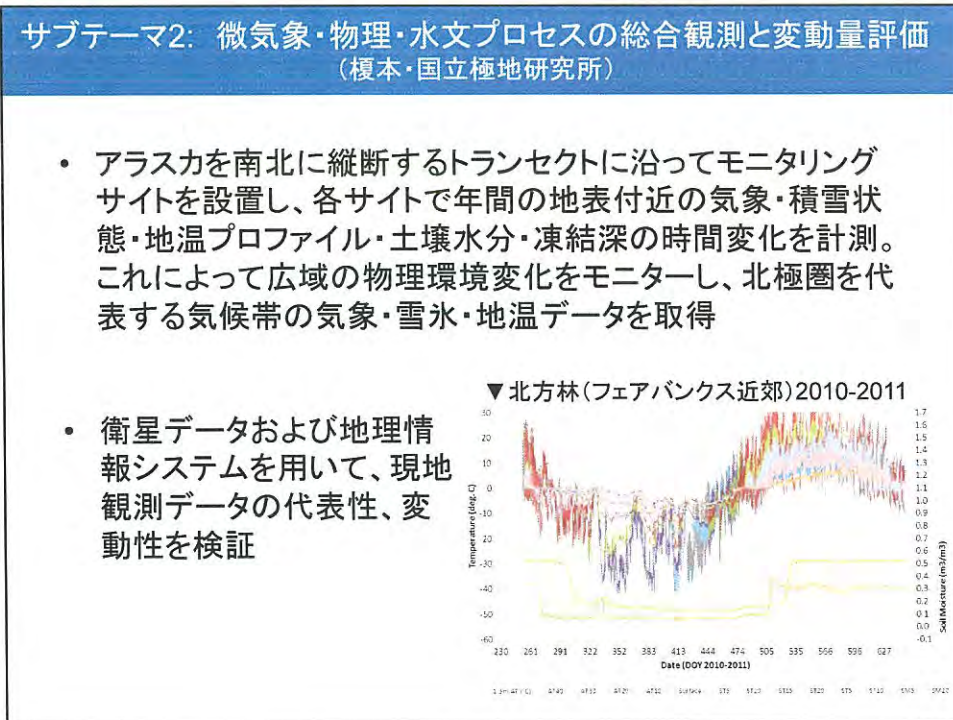
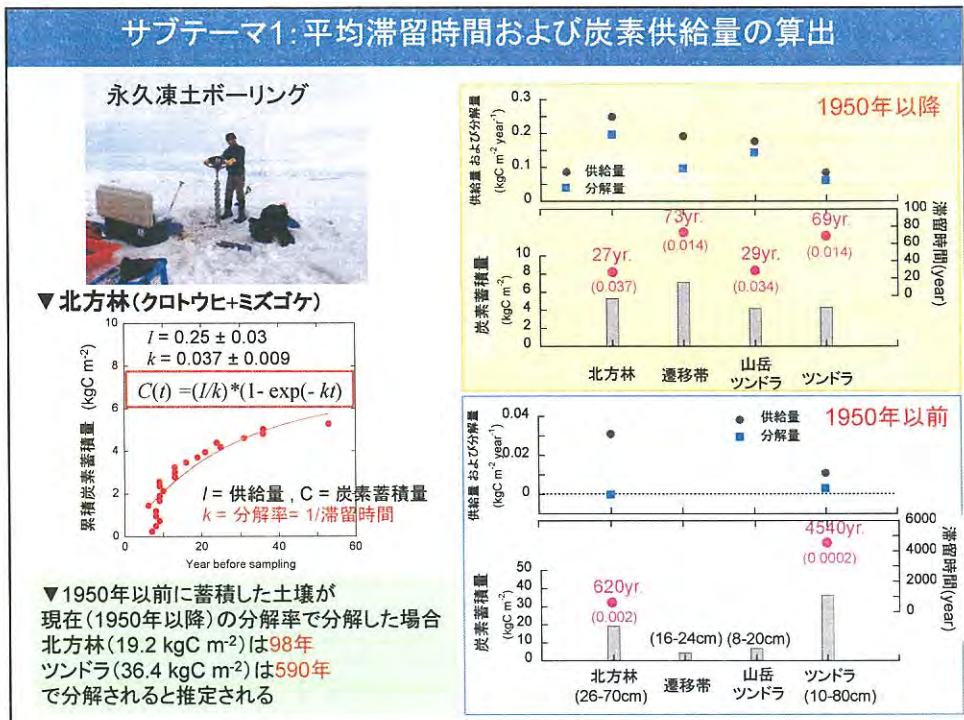


加速器質量分析計(AMS、国環研)



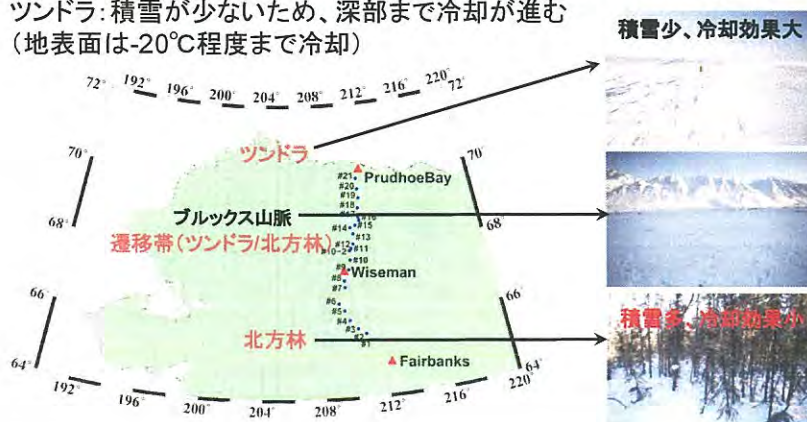
▼火災跡地土壌試料を用いた消失量の試算





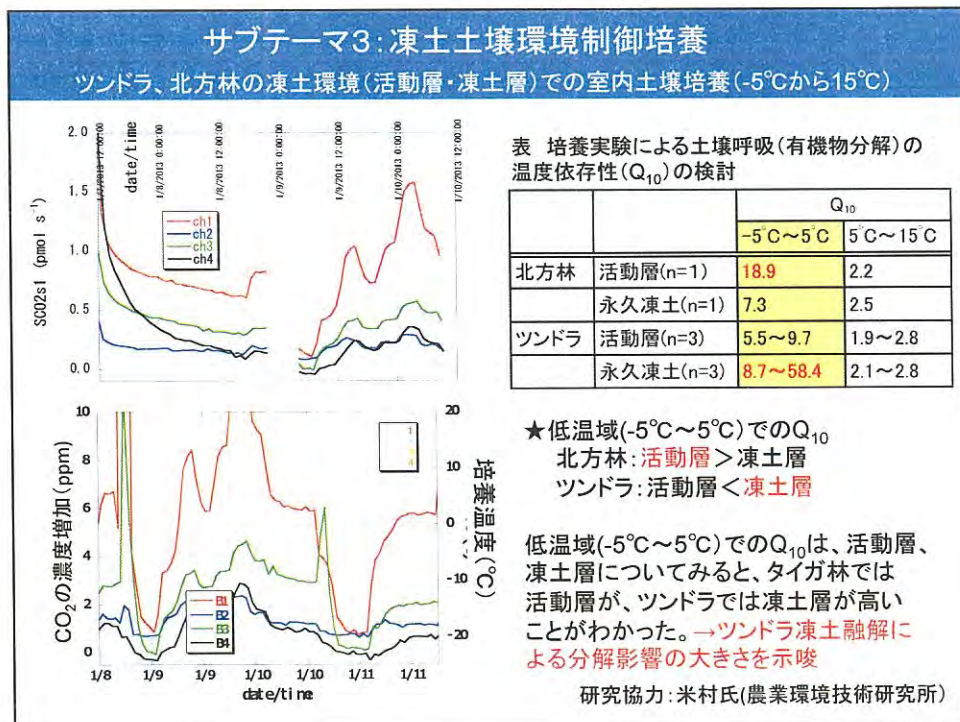
サブテーマ2: 地温・土壌水分量と積雪量との関係

- ・高緯度地域の地温の通年データを取得し、微地形、植生毎に年間サイクルの特徴を示した。
- 土壌物理プロセスを正確にシミュレーションするための検証データとして有効
- ・土壌の凍結・融解には**冬期の積雪の多寡が影響**
 - 北方林: 積雪が多いため土壌の冷却が抑制(地表面: -10°C 程度まで)
 - ツンドラ: 積雪が少ないため、深部まで冷却が進む(地表面は -20°C 程度まで冷却)



サブテーマ3: 温室効果ガスのフラックス観測とその起源の定量的評価(内海・筑波大学)

- 温室効果ガスのフラックス量と凍土環境における有機炭素分解と、環境要因との関連性の把握
 - 室内土壌培養実験による有機物分解の温度依存性(Q_{10})の評価
 - チャンバー法を用いた炭素(CO_2 , CH_4)フラックス測定
- 炭素フラックスと微生物活動との関連性を検討
 - セルロース分解活性測定による土壌微生物活性測定
 - 土壌微生物群集構造の解析



サブテーマ4: 土壌炭素動態モデルの開発および高精度化 (伊勢・兵庫県立大学・海洋研究開発機構)

●土壌炭素動態モデルの開発

- 北極高緯度地域に特有の土壌炭素蓄積動態を表現するシミュレーションモデル構築

➢観測された土壌温度変化のシミュレーション再現

●観測データに基づく土壌炭素動態モデルの構造改良、その効果の比較シミュレーション

➢観測サイトのデータに基づくシミュレーション実施

➢シミュレーションによる土壌炭素密度・ ^{14}C 含有量の垂直構造と観測データの比較

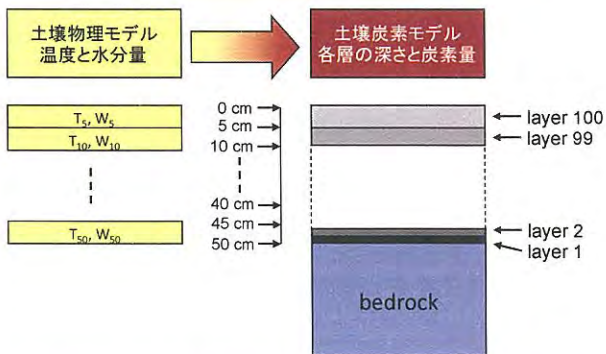
●観測データを用いた土壌炭素動態モデル検証・将来予測

➢長期の炭素蓄積動態の再現と検証

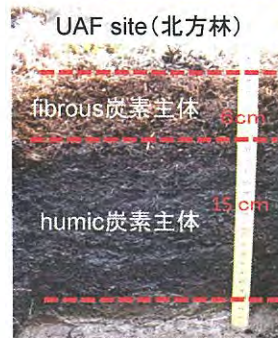
➢アラスカ北方林地帯における火災と永久凍土分布を考慮した広域の炭素動態の再現と将来予測

サブテーマ4: 土壌炭素蓄積の垂直構造モデル構築

土壌炭素の分解速度を
各深度の温度と水分量から計算



有機質土壌の観測例



年ごとに蓄積されていく有機質土壌を有機物の滞留時間
情報を加味し、明示的にシミュレーション再現(世界初)

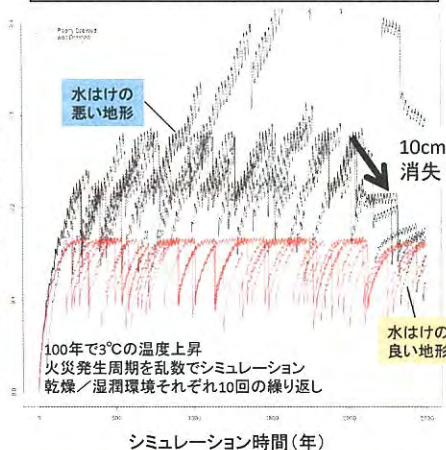
論文発表: Mori, Ise, et al. 2012. Open Journal of Ecology

サブテーマ4: アラスカ広域での土壌炭素動態予測

アラスカ北方林地帯
(discontinuous permafrost zone)の
GISによる地形分類



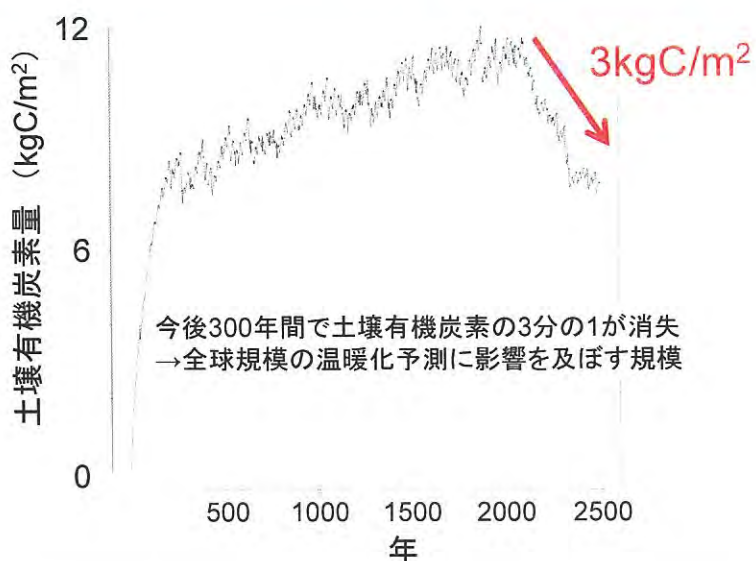
アラスカ北方林、地形タイプ・火災発生を考慮した
シミュレーションセット(過去2000~未来500年後)



100年で3°Cの温度上昇
火災発生周期を乱数でシミュレーション
乾燥/湿潤環境それぞれ10回の繰り返し

広域地形分類に基づき地形タイプごとにシミュレーションを行う他結果、水はけの悪い
地形にのみ永久凍土が生じることが判明
発生する森林火災を乱数で再現し、地域全体の炭素収支に与える影響を検証

サブテーマ4: アラスカ北方森林の土壤有機炭素変化予測 (~500年後)



成果(科学的意義と環境政策への貢献)

温暖化予測への直接的貢献

1) 北極土壤炭素動態モデルの開発

・従来の土壤炭素シミュレーション実験では再現できていなかった土壤物理との炭素循環のフィードバックをアラスカ北方森林において実施した観測データをベースに開発・検証を行った。これにより、世界で初めて明示的に将来の土壤炭素動態のシミュレーションが可能となった。

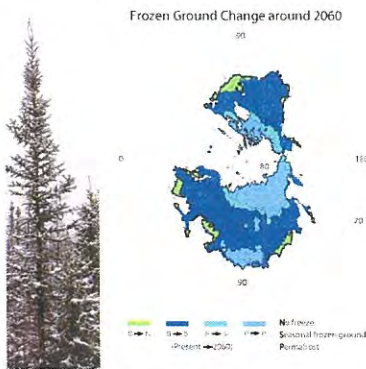
2) モデルの予備的運用結果

土壤有機炭素層の分解と永久凍土の崩壊が相互作用によって劇的に進行する可能性を示唆

・ アラスカの北方林地帯を広域で過去2000年前からシミュレーションを行い、地域全体の土壤炭素蓄積量の推定とむこう500年間の将来予測を実施

対象地域の土壤から3ギガトンの炭素が失われる可能性が示された—これは全球規模の温暖化予測に影響を及ぼす規模

【A-1003】北極高緯度土壤圏における近未来温暖化影響予測の高精度化に向けた観測及びモデル開発研究



北極域：2071-2100年
温暖化による気温上昇（～6.5℃）
の影響最大、
2060年、アラスカ永久凍土消滅

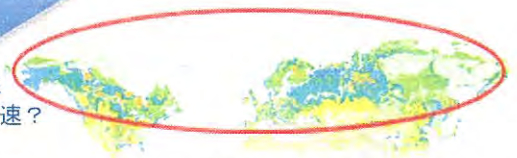
急激な温暖化の結果

- ・ 永久凍土の融解
- ・ 乾燥化により自然火災多頻度発生
→ 土壤有機炭素の分解・放出を加速？
→ 正の温暖化フィードバック



永久凍土溶解に伴う
有機炭素分解の活発化

Zimov et al., Science (2006)



アラスカ、地質時代から蓄積された易分解性有機炭素(fossil carbon)の宝庫

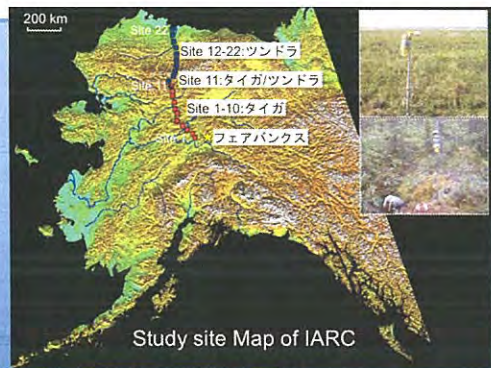
- 近未来温暖化により高い炭素循環フィードバック？→その予測精度は**不十分**
- 将来予測の高精度化に向けたモデル開発のための観測データの積み上げと検証可能な**モデル開発が必要!**

目的・目標

北極高緯度土壤圏における土壤有機炭素動態を中長期的に予測するための観測とモデル開発

土壤圏の炭素動態・蓄積・分解のメカニズムを解明するためのデータ取得と生物地球化学的プロセスと気候へのフィードバックを含めた土壤炭素動態モデルの開発

観測地：米国アラスカ州、北緯 60～75 度(南北約 1000km)、タイガ・ツンドラ凍土帯、自然火災跡地
観測協力：アラスカ大、北極圏研究センター(IARC)



【サブテーマ 1,2,3】

北極域土壤圏における有機炭素動態の実態解明のための陸域総合観測

① 開発 (基礎データ)

仮比重、炭素・窒素含有量、土壤呼吸速度測定、温度依存性 (Q_{10})、環境要因 (地温・水分)、熱伝導率

② 検証データ

土壤有機炭素の炭素蓄積量と分解率、滞留時間
→ 土壤有機炭素の ^{14}C 分析

③ 高精度化 (プロセス解明データ)

- ・ 土壤呼吸 CO_2 の炭素源の特定
- ・ Fossil carbon 分解の割合の定量化
→ 土壤 CO_2 、土壤呼吸、微生物脂質の ^{14}C 測定

【サブテーマ 4】

北極域における土壤有機炭素動態を中長期的に解析するためのモデル高度化

① 北極土壤圏炭素動態モデルの開発 (ED2.0-peat をベース)

② 検証・改良

・ 炭素動態(平均滞留時間、 CO_2 放出速度)を再現性確認

③ 高精度化

・ 北極圏特有の未解決プロセスを考慮 (永久凍土の融解と fossil carbon 分解の活性化、自然火災による有機炭素の消失 etc...)

北極生態系土壤圏における温暖化影響予測の高精度化

土壤物理との炭素循環のフィードバックにより、気候変動下にある高緯度北極土壤炭素の蓄積と分解を再現

