



同位体地球科学

～ 同位体トレーサーで探る物質循環と環境生物研究～

NIFSにおけるトリチウム環境研究(監視業務)

- **施設影響監視のための測定**(1982年～)
 - 当初: 核反応プラズマ研究計画(R計画)のための環境測定
 - 現在: LHD重水素実験のための環境測定
 - これから: 何のための環境測定??

ローカルからグローバルへ

• LHD重水素実験の完遂

- 重水素核融合反応によるトリチウムの生成はなくなる
- ローカルな核融合施設影響監視の必要性が低下



- 測定手法の確立、測定技術を有する技術者を育成
- これまでのトリチウム環境監視結果は、東濃地区の環境データベースとして利用できる



測定技術の活用
対象空間を拡張

• 研究対象のグローバル化

- 地球環境における物質循環・影響研究への取り組み
- 広域な観測対象、ネットワークの構築
 - 例えば、極東にあり南北に長い島国: 日本における広域観測 (緯度効果、大陸-海洋-大気に関連する特徴的な研究フィールド)

シングルからマルチへ

• 核融合研究のためのトリチウム測定

- 核融合研究で使用される、もしくは生成されるトリチウムを対象とした環境測定
- トリチウムという**一種(シングル)**だけが対象であり、これだけで環境での物質移動・影響を評価することは難しい



研究の視点
対象を拡張

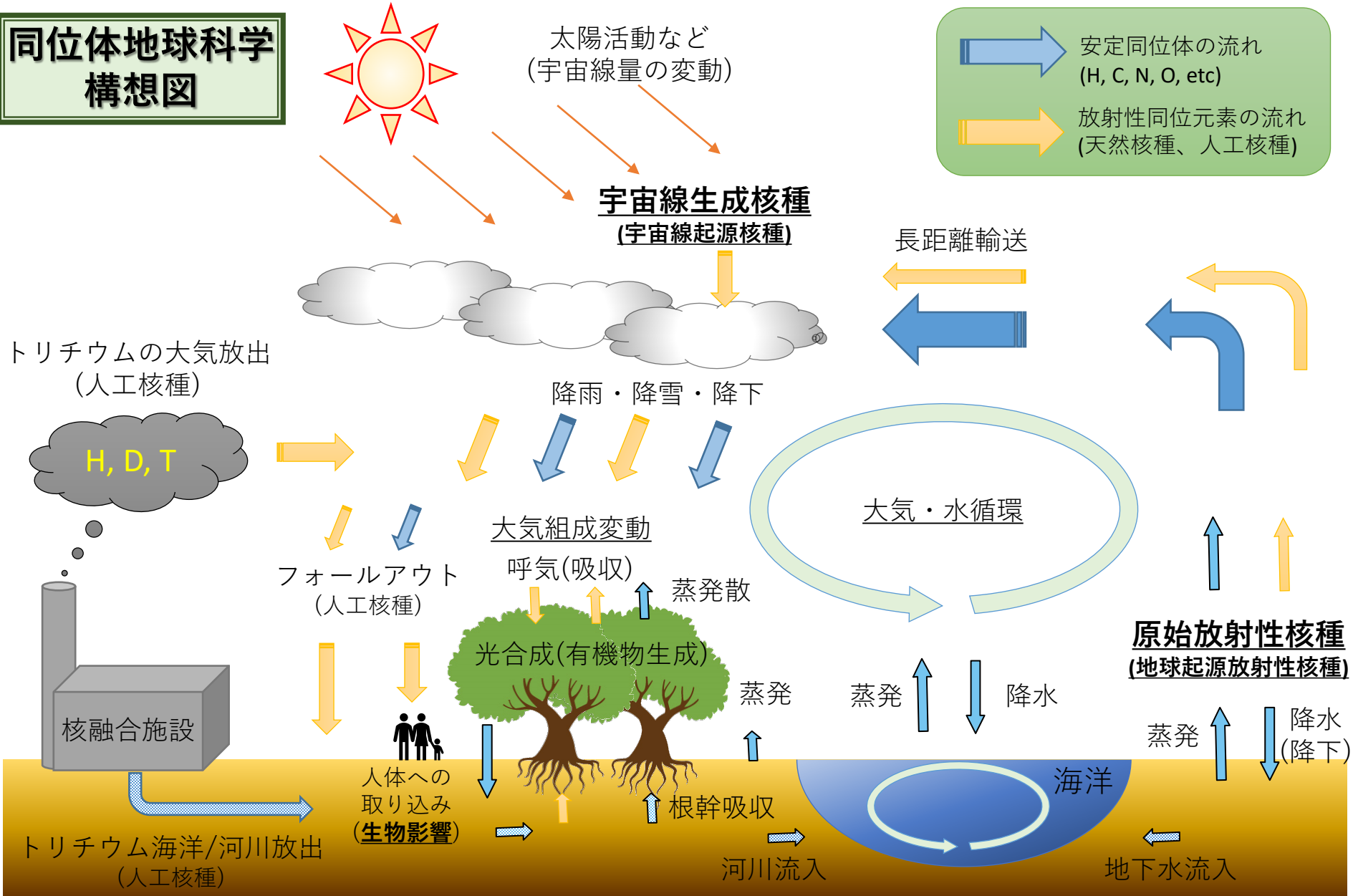
• さまざまな同位体を利用する同位体地球科学研究へ

- よく知られた挙動・特徴を有する同位体(安定/放射性)をトレーサーとして利用し、観測対象を**多種(マルチ)に拡張**する。
- さまざまな分析技術を有する共同研究者との協働作業
- 広域で多様な共同研究ネットワークを活用した同位体地球科学研究への展開を試みる。

研究目的・目標

- 同位体は、よく研究され、広く知られた特性・特徴を有する
 - 元素の物理化学的特性や安定同位体比などは普遍である
 - 相変化や化学反応などで(動的)同位体効果があり、自然界の安定同位体比は地球の情報(起源・時間・状態)を記録する媒体である。
 - 放射性同位元素は、原子力施設からの放出や自然界での生成条件(起源)に影響を受けて増加し、一方で半減期にしたがって壊変(時間)し減少する。
- ⇒ 同位体は、地球の時空間情報を記録し、物質移動を議論する道具になる
- 同位体をトレーサーとして利用し、**数年間を対象とした環境変動**の観測から、地球環境における**水素同位体の移動現象と環境生物影響**の解明を目指す。
 - 水素元素は地球環境の至る所(地表だけでなく地球内部にも、地球外にも)に存在しているので、自然界で直接的、間接的に重要な役割をしていると考えられる。
 - **大気圏-水圏-生物圏**における水素同位体の移動、滞留(結合)、酸化還元反応、化学形態の転換を通じた複合・複雑環境、生物影響の解明を対象とする。
 - 大気組成の測定や元素の安定同位体比、長距離移動を伴う同位体、試料水中イオン種などを分析し**物質循環過程を考察**する。
 - 生体との親和性が高い気体(H_2O , O_2 , CO_2)、水(H_2O)や有機物(C, H, O, N, P, S)も対象とし、環境から植生(有機物)、生体への移動過程研究や、放射性同位元素や放射線による**生物影響研究を対象とした共同研究**の推進。

同位体地球科学 構想図



**安定・放射性同位元素をトレーサーとして利用し、微量元素の同位体分析から
環境中の水素同位体の物質循環、生物影響を明らかにする**

NIFSで出来ること、出来ないこと

• 共同研究ネットワークを活用した環境生物研究

- 大局的な環境研究には、**空間的な広がりをもつ研究ネットワーク**が必要である。(例えば、一般共同研究: ネットワーク型を中心とした活動)
- 環境での同位体挙動だけでなく、**生物に対する同位体の相互作用(影響評価)**も取り入れた研究ネットワークとする。
- シミュレーション/データ解析技術を活用した物質移動過程・影響評価
- **地球環境での動的な物質移動、生成消滅過程、生物影響の理解**

• 測定技術から見たNIFSの強みと弱み

• **強み: 天然レベルの放射性物質が測定できること**

- 重水素実験のために整備された放射能測定機器(ゲルマニウム半導体検出器、液体シンチレーション計数装置、etc)を用いると、天然レベルの放射性物質が測定できる。
- 環境監視技術(フィールド調査技術: 土壌水採取、雨水採取、水盤、エアロゾル採取、能動/受動的大気捕集装置や、前処理技術: 蒸留装置、電解濃縮装置、マイクロ波による植生燃焼装置)を確立し、測定技能を有する技官や環境放射能データベースを有すること。

• **弱み: 微量の安定同位体が測定できないこと**

- 例えば、安定同位体比分析機器(IRMS (Isotope Ratio Mass Spectrometry)、ICP-MS、AMS)や、分光分析機器(CRDS, etc)を所有していない。

共同研究を通じた測定・観測ネットワークの確立、**所内での測定機器開発**

微量の水素同位体分析技術の開発提案

• レーザー吸収分光法による同位体組成の測定

- 赤外吸収分光法で大気組成分析は可能、同位体弁別も比較的容易である。しかし、天然同位体比の測定は困難である。

- NIFSが有するレーザー技術を活用して、持ち運び可能な小型分析機器が開発できないか？

- **多点測定**や**極限環境での測定**が可能になり、社会にインパクトを与える。

• 加速器質量分析計を用いた同位体比の測定

- LHDで使用している6MV-HIBPを改造し、加速器質量分析計(AMS)として活用できないか？

- 少量試料で測定ができれば、**環境トリチウム研究に変革をもたらす**可能性がある。

学術研究プラットフォームとしてのAMS整備の提案



名古屋大学
宇宙地球環境研究所
(加速電圧: 2.5 MV, 電流: 20~30 μ A)

^{14}C



JAEA
東濃地科学センター
(加速電圧: 5 MV, 電流: $\sim 1 \mu$ A)

^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al , ^{129}I

データ
の相互比較
(信頼性評価)



相補的な
位置づけ



NIFS
6 MV-HIBP改造による
AMS利用の提案

^1H , ^2H , ^3H (^3He), ^{14}C

整備の目的:

多様な学術分野の広がり念頭に、6 MV-HIBPの改造による微量元素分析用加速器を整備

性能目標: かなり高い目標ですが・・・

少量試料(mgオーダー)で環境レベルのトリチウム(1 TU= 10^{-18} T/H, 0.12 Bq/L)を測定できること。
(トリチウムAMS@LLNL: $\sim 10^3$ TU/mg-sample [汚染がなければ: ~ 70 TU])。

研究開発課題: NIFSが有する核融合技術を活用

開発できれば

レーザー計測とAMSで拓く
環境水循環研究の新展開
が可能かもしれない

- 分析に適当な負イオン源開発(含む、試料調製法) <= NBIやHIBPの技術?
- 質量分離のための電磁石/ビームライン設計開発 <= 超伝導(常電導)マグネット技術?
- AMSのための高感度粒子検出器開発, etc <= プラズマ診断技術?

同位体地球科学の学術分野、応用研究、共同(協働)研究

同位体地球科学

環境科学分野:

宇宙/太陽圏: 宇宙線物理学
大気圏/水圏/生物圏: 大気科学、水文学
気象学: 地球温暖化/気候変動
古気象/古生物学

医薬/生命科学分野:

低線量率(低濃度)影響研究
化学形と生物影響の関連性
環境から生体への移行モデル
応用研究(創薬応用, etc)

シミュレーション科学分野:

大気・水・生物間の物質循環
成層圏・対流圏の物質移動
放射線生物学

量子エネルギー分野:

原子力科学
核融合科学
加速器科学

分析科学分野:

高精度・高感度測定法開発
試料採取手法の開発
回収、精製、分離技術
放射性物質の安全取扱技術

生物科学分野

東北大(IRIDeS), 茨大, 理研,
NIPH, 国際医福大, 女栄大,
広大(原医研/工), 産医大(RIC), etc

環境科学分野

北科大, 弘大, IES, 福島大(IER),
JAEA, 名大(ISEE), 藤田医科大, 京
大(KURNS), 神薬大, 九大(RIC),
九環協, 琉大, etc

同位体回収・生成・分離

富山大(HRC), 名大(ISL),
九大(I²CNER), 長岡技科大,
弓削商船, etc
(赤字はトリチウム取扱施設)