



榎並 正樹 教授



加藤 文典 准教授

## フィールドスケールから顕微鏡スケールまでの空間情報に時間軸を入れ、46億年にわたり地球が経験してきた変動とそのメカニズムを解明する。

約46億年前に生まれた地球は、地殻—マントル—核の相互作用により常に変動しており、その情報は地表に存在する岩石に記録されています。過去に地球に生じた現象を理解するためには、「いつ」「どのような現象」が「なぜ」生じたのかを正確に知る必要があります。CHIME年代測定グループでは、特に地質現象が起こったのはいつなのかという問題を名古屋大学が世界に先駆けて開発・実用化したCHIME年代測定法により明らかにしようとしています。

フィールドワークによりマクロスケールの地球の姿を観察し、ミクロスケールに記録された情報を引き出すことにより、なぜそのような姿をしているのか、いつ、何が起こってそのような姿になったのか解き明かしていきます。そのために、地質年代学・フィールドジオロジー・岩石学・岩石化学・結晶学・X線分光学・ラマン分光学など幅広い分野の研究を行っています。

### 名古屋大学が世界に先駆けて開発・実用化したCHIME年代測定法

名古屋大学が1990年代に開発したCHIME (Chemical U-Th-Total Pb Isochron Method) 年代測定法は、ウラン・トリウムが放射壊変により鉛になる現象を用いています。CHIME年代測定法は、同位体年代測定ではなく化学年代測定であり、電子プローブマイクロアナライザー (EPMA) を用いることにより、ミクロスケールのサブグレイン年代測定を非破壊で行うことが可能です。名古屋大学宇宙地球環境研究所では、モナザイト・ジルコン・ゼノタイム・バッドレイ石・ユークセン石など様々な鉱物のサブグレイン年代測定を行っています。

これらの鉱物は熱に対して強く、いったん形成されるとその後高温変成作用などを被っても年代情報を保持し続け、また2次成長により年代累帯構造を形成することがあります。ミクロスケールの年代累帯構造をCHIME法により正確に測定することにより、鉱物の成長の歴史を正確に知ることができます。

### 年代測定研究だから可能な<sup>14</sup>C年代測定とCHIME年代測定法のコラボ

年代学・考古学・岩石学の融合研究

考古学的遺物の年代測定が可能な<sup>14</sup>C法と岩石の形成年代を測定するCHIME。

北九州の沿岸海底から、碇石と呼ばれる加工成形された石材が数多く発見されています。右の写真はその一例です。その中には、木製の碇身をともない木製碇の原形をとどめているものもあります。そして、この木と碇を結びつけるために使用されていた竹索から、それらが文永 (1274)・弘安 (1281)の役頃に伐採をされたことを示す年代が得られました。一方、碇石のCHIME年代測定と全岩化学組成分析結果からは、その岩石は中国大陸南東部、その中でも特に福建省泉州から金門島にかけて産するものに見極めて類似することが明らかとなりました。そして、北九州の沿岸海底に眠る元寇船のいくつかは、泉州付近でつくられ江南軍を輸送していたものであることが明らかとなりました。



鷹島埋蔵文化センター(松浦市)所蔵の碇石

### CHIME年代測定装置

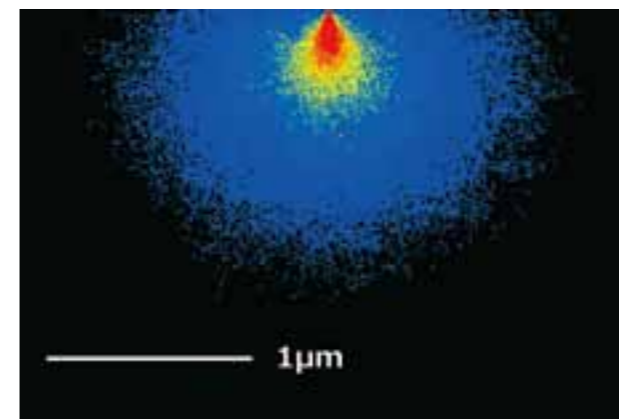
CHIME年代測定装置は、数ミクロンという高い空間分解能を持つことが特徴です。この装置は、地球科学や物質科学の分野で汎用的に利用されているEPMAを基本としていますが、UやPbなど通常の鉱物には数10~数ppm以下しか含まれないような微量元素を効率よく定量するための分光系の設定や電子線を安定して長時間照射するための改良などがなされています。また、バックグラウンド測定やピーク分離など、微量元素の検出感度を上げて、より正確な定量分析を行うための基礎的研究を続け、装置を実用化しました。



第2世代のCHIME年代測定装置

### CHIME年代測定法の高精度化と測定可能年代の拡張

EPMAを用いたCHIME年代測定では、数ミクロンの領域の化学組成を正確に測定する必要があります。化学組成の正確さは、エックス線の測定、補正計算および標準物質の化学組成の正確さでまきます。CHIME年代測定法で新生代の岩石の正確な年代測定が可能な研究機関として、さらなる測定法の改良を行っています。実際に測定した岩石で最も若いものは1700万年前に形成されたヒマラヤの岩石ですが、100万年前の岩石も測定可能にするため、より正確なエックス線強度の測定法、補正計算の改良を行っています。また、海外の研究機関と協力し、標準物質の品質維持も行っています。



モナザイト中のトリウムM線の発生領域(シミュレーション)

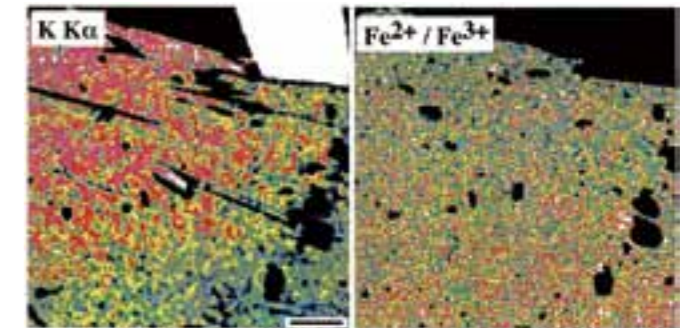
### エックス線発光スペクトルやラマンスペクトルによる結晶構造の解明

#### ■特性X線マッピング

価電子帯や非占有軌道が関与したエックス線は、原子の結合状態など結晶構造を解明するうえで有益な情報を含んでいる可能性があります。ミクロンスケールで記録された結晶の状態から岩石が形成されたとき「何が起こったのか」を理解するため、EPMAを用いたエックス線発光スペクトルを用いています。例えば、岩石が形成された時の酸素分圧の情報は鉱物に含まれる鉄などの元素の酸化状態から解明できることがあります。

#### ■ラマン分光分析

最近、岩石学の分野で大きな威力を発揮している分析手段に、ラマン分光分析法があります。ラマンスペクトルは、鉱物の化学組成、結晶構造や歪み状態等の情報を反映しており、鉱物種の同定やメタミット化の程度の検討等に利用することが可能です。

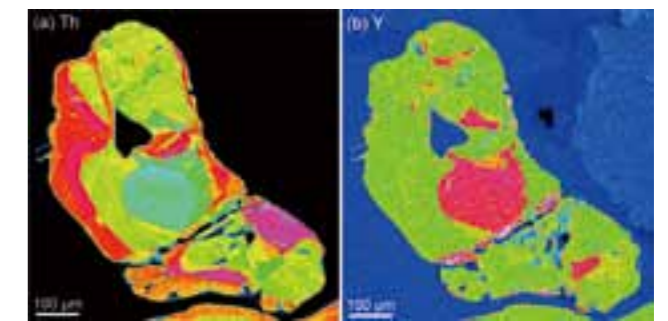


黒雲母中のカリウムとFe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup>比のマッピング

### CHIME年代測定の応用と地球史の解明

鉱物は、その成長の過程を化学組成の不均一性(累帯構造)として記録しています。

ミャンマーには、再結晶時の温度が800°C以上に達するMogok高温変成岩が産します。あるMogok変成岩中のモナザイトは、ThとYの濃度分布に着目すると、Yに富む中心部、YとThの両方に乏しい中間部、そしてThに富む周縁部からなり、この順に形成されたことが明らかとなりました。それぞれの部分の年代をCHIME法によって求め、その結果を他の鉱物の化学組成の特徴などと対応付けた結果、このモナザイトを含む岩石は、38Ma±におよそ0.8GPa/800°Cの条件下で現在認められる鉱物の大部分が形成され、その後上昇冷却途中の28Ma±におよそ0.4GPa/600°Cの条件下で主要な加水反応を被り、さらに後の時期に変成流体の流入により年代が局所的にリセットされるという複雑な変成履歴を記録していることが明らかとなりました。



モナザイトの組成累帯構造

写真の説明: 左より (1)国内・(2)天山山脈におけるフィールド調査での一コマ、(3)ミャンマー・マンダレー大学における討論の様子、(4)オープンキャンパスでのCHIME装置の説明、(5)CHIME年代測定前の顕微鏡観察、(6)CHIME年代測定の様子

Webページ: <http://www.nendai.nagoya-u.ac.jp/ja/index.html>  
連絡先: enami@nagoya-u.jp (榎並)





北川 浩之 教授      南 雅代 准教授      小田 寛貴 助教

## タンデトロン加速器質量分析装置を用いて、<sup>14</sup>Cをはじめとする宇宙線生成核種の超高感度分析を推進し、新たな地球史と人類史研究の創造をおこなう。

加速器質量分析法（AMS法）は、通常の質量分析計では測定できない超微量の原子を測定する超高感度な分析技術です。最もよく知られている応用は、考古学調査で発掘された遺物の放射性炭素（<sup>14</sup>C）年代測定でしょう。僅か数ミリグラムの試料に含まれている極微量の<sup>14</sup>Cを正確に測定することで、年代が正しく決定されます。AMS法による<sup>14</sup>C分析は、地質年代学、堆積学、水文学、火山学、氷河学、海洋学、惑星・宇宙論等の地球科学、さらに歴史学、考古学、人類学の人文の諸分野の年代測定に活用されています。近年では、微量同位体をトレーサとした地球温暖化の解明や環境動態解析、バイオメディスン（生体医学）にもAMS法の応用が広がっています。年代測定研究部タンデトロン研究分野では、加速電圧3MV（3×10<sup>6</sup>ボルト）のタンデム型加速器質量分析装置を使い、最新の年代測定法の研究開発を行い、学際的な研究分野の諸課題に取り組んでいます。



タンデトロン加速器質量分析装置(HVEE社製)

### 宇宙線生成同位体分析による新たな展開

宇宙線生成同位体とは聞きなれない専門用語かもしれませんが、高いエネルギーの宇宙線が地球大気中へ進入するときに大気中の原子と種々の核反応を起こし、<sup>10</sup>Be, <sup>14</sup>C, <sup>26</sup>Al, <sup>36</sup>Cl, <sup>41</sup>Ca, <sup>59</sup>Ni, <sup>129</sup>I, Pなどの同位体が生成されます。これらの核反応生成物を宇宙線生成同位体と呼んでいます。AMS法は、宇宙線生成同位体の存在量を測定する最も有力な方法です。<sup>14</sup>C以外の宇宙線生成同位体に着目した研究はまだ発展途上ですが、南極や北極の氷床掘削試料の<sup>10</sup>Be や<sup>36</sup>Cl から過去の宇宙線強度や地球磁気強度の変化の詳細を探る研究などが進められています。また、<sup>26</sup>Alに着目した生物の代謝過程の解明なども行われています。今後、年代測定研究部タンデトロン研究分野では、最先端のAMS<sup>14</sup>C分析を行い多様な学問分野へ貢献するとともに、最新の加速器質量分析装置を新たに導入し、他の宇宙線生成同位体を使った新たな研究を開始していく予定です。皆さんと協力して、加速器質量分析装置を使った超高感度分析による新たな研究分野の創造を目指します。

### レバント地方の気候変動復元

レバント地方の過去の気候変動を復元するために、国際陸上科学掘削計画（ICDP）死海掘削プロジェクトを進めています。高い精度の<sup>14</sup>C年代測定から死海の最深部からの掘削試料の編年が得られました。国際共同研究を推進したい大学院生を募集します。



死海での掘削の様子

大学院環境学研究科地球環境科学専攻の協力講座「地球史学講座」として、大学院教育をおこなっています。化学・地学・物理学・生物学・考古学など、理系・文系さまざまな分野出身の学生と一緒に研究を推進しています。大学院学生がおこなった最近の研究成果をいくつか紹介します。

### 炭化物の高精度<sup>14</sup>C年代測定



古い炭化物（3万年前以前）に付着・吸着した汚染炭素を効率良く除く方法について、化学的な点から詳細な検討を行い、正確な<sup>14</sup>C年代が得られるようになりました。  
H25-26・修士研究（名大理地惑卒の学生）

### 石筍からの古気候復元



静岡県竜ヶ岩洞内地下水の<sup>14</sup>C濃度と降水量の関係を2年間に渡って調査することにより、石筍の<sup>14</sup>C濃度が過去の降水量のプロキシになり得ることを明らかにしました。  
H24-25・修士研究（名大理地惑卒の学生）

### 歯牙<sup>14</sup>Cからの人体の年齢推定



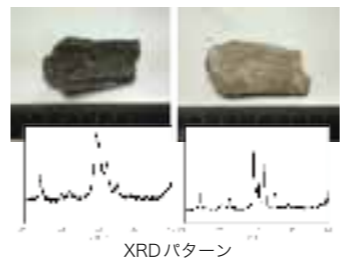
1950年代以降の日本人の歯牙<sup>14</sup>C濃度が汎地球的な大気<sup>14</sup>C濃度の変動と一致することを確認して、身元不明遺体の個人特定に有効な年齢推定法の導入を可能にしました。  
H25-26・修士研究（静大理卒の学生）

### <sup>14</sup>C濃度に基づくPM2.5の動態解析



福岡市のPM2.5の<sup>14</sup>Cや化学成分を分析し、年間を通じて化石燃料起源炭素よりバイオマス起源炭素が多いこと、中国北部から石炭由来の粒子が到達することが明らかになりました。  
H24-25・修士研究（福岡大理卒の学生）

### 骨CHAを用いた<sup>14</sup>C年代測定



600度以上の高温で加熱された火葬骨試料では、炭酸ヒドロキシアパタイト（CHA）を用いた<sup>14</sup>C年代測定が有効であることを、真贋の火葬骨を用いて明らかにしつつあります。  
H27-28・修士研究（名大理地惑卒の学生）

### 鉄製考古遺物の<sup>14</sup>C年代測定



鉄素材に内在する炭素を抽出し<sup>14</sup>C年代測定を行うことにより、鉄製遺物に年代を直接付与できることを、製錬・精錬・鍛錬実験から得られた鉄塊の分析から明らかにしました。  
H23-24・修士研究（奈良教育大卒の学生）

微量試料（炭素量<100μg）の高精度<sup>14</sup>C年代測定

極微量の試料から正確な<sup>14</sup>C年代を得ることを目指し、様々な新手法を開発しています。

放射性炭素年代法の高精度化

日本版暦年較正曲線の確立

年代の明らかな樹木年輪を使って、1年輪ごとに<sup>14</sup>C測定を行い、日本の暦年較正を高精度化する日本版<sup>14</sup>C較正曲線の確立を目指しています。

古文書の年代決定・真贋鑑定

古文書の一部（切れ端や綴じ糸）、古筆切の<sup>14</sup>C測定を行い、年代や真贋を明らかにしています。

歴史・考古資料の年代測定

自然災害・環境変動の年代測定

火山噴火の年代決定

火砕流中の埋もれ木の<sup>14</sup>C測定を行い、噴火の年代を明らかにしています。

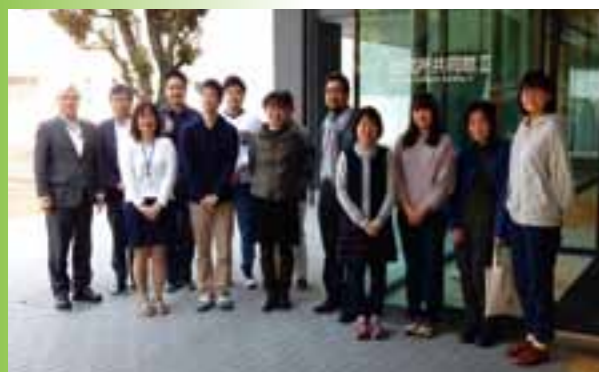
考古遺物の年代決定

考古遺跡から出土した木柱や土器付着炭化物、貝殻などの<sup>14</sup>C測定を行い、遺跡の営まれた年代を明らかにしています。

放射性炭素をトレーサーとした環境動態解析

大気エアロゾルの起源推定

大気エアロゾル中炭素成分に含まれる<sup>14</sup>C濃度を調べ、化石燃料（人為）起源粒子の割合を推定し、越境汚染の可能性を探っています。



写真の説明：左より、(1)研究室セミナーの様子、(2)試料調製を行う学生、(3)XRD分析を行う研究員、(4)アメリカ・ユタ州でのフィールド調査での一コマ、(5)地域貢献事業（若狭三方縄文博物館の入り口前で、参加者の小・中学生とともに）

Webページ: <http://www.nendai.nagoya-u.ac.jp/ja/>  
連絡先: hiroyuki.kitagawa@nagoya-u.jp (北川)  
minami@isee.nagoya-u.ac.jp (南)

