

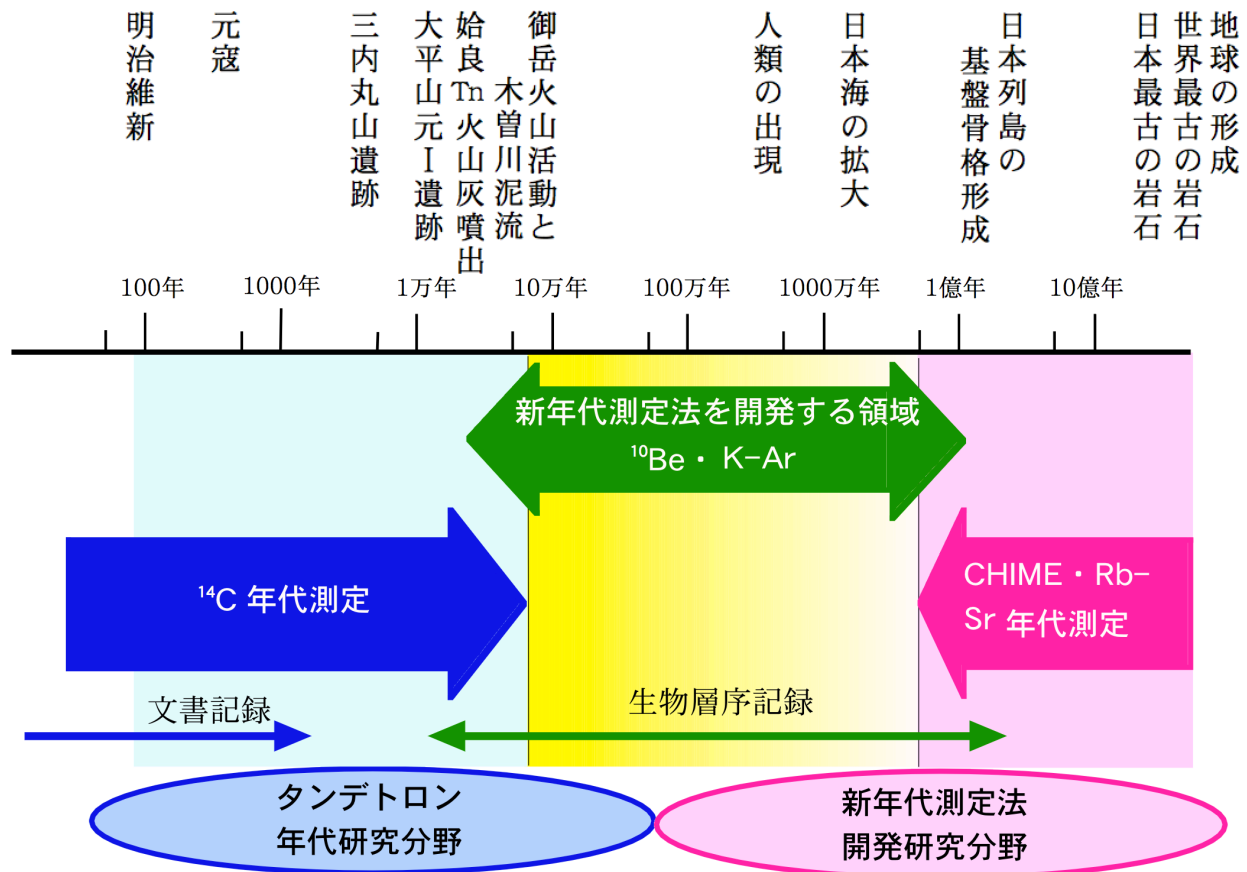
名古屋大学 宇宙地球環境研究所 年代測定研究部

*Division for Chronological Research
Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE)
Nagoya University*



名古屋大学 宇宙地球環境研究所 年代測定研究部の概要

平成2年度に設立された名古屋大学年代測定資料研究センターが10年間の時限を迎え、平成12年度から学内共同利用施設としての名古屋大学年代測定総合研究センターに、そして平成27年10月に全国共同利用施設としての宇宙地球環境研究所の基盤研究部門である年代測定研究部に生まれ変わりました。本研究部は、地球史のあらゆるイベントの解析を行うために、タンデトロン年代研究分野および新年代測定法開発研究分野の二分野を構成して、ユニークな研究を実施するとともに、幅広い学術的な共同利用と共同研究に貢献しています。



^{14}C 年代測定法によって、約5万年前までの地球環境変動と人類文化史についての研究を行うとともに、新年代測定法の開発を ^{14}C 年代から支援します。また、活断層や火山の活動周期をより細密な年代測定から解析する研究や ^{14}C 濃度の時空変動の解析から近未来の地球環境予測に関する研究を進めます。

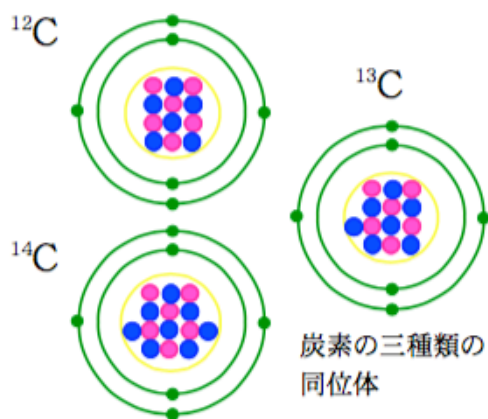
^{10}Be などを利用した新しい年代測定法の開発を行って、これまで年代決定ができなかった約6万年前から数百万年前までのイベントを解析する研究を進めます。また、CHIME法を駆使して約46億年前から約1億年前までの長い地球史を詳しく研究します。

沿革

昭和56 (1981)年 3月	タンデトロン分析計初年度分の搬入 (アイソトープ総合センターに設置)
昭和57 (1982)年 2月	タンデトロン分析計次年度分の搬入
昭和58 (1983)年 9月	タンデトロンによる ^{14}C 年代測定を開始
昭和62 (1987)年 1月	タンデトロンの学内共同利用を開始
平成 2 (1990)年 6月	名古屋大学年代測定資料研究センター発足
平成12 (2000)年 4月	名古屋大学年代測定総合研究センター発足
平成27 (2015)年 10月	名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究部発足

放射性同位体

原子の陽子の数は元素ごとに決まっています。しかし、中性子の数は、同じ元素でも違っているものがあります。陽子の数が同じで中性子の数が違う原子を同位体と呼びます。例えば、原子番号が6の炭素の場合、陽子の数は6個ですが、中性子の数が6個、7個、8個という三種類の同位体があります。通常、中性子の数は、原子番号の小さい元素では陽子の数と同じか若干多い程度です。原子番号が大きくなると陽子に比べて中性子が多くなります。原子番号92のウランでは、陽子92個に対して中性子を143個と146個もつ主要な同位体があります。同位体を表すときは、炭素の元素記号Cの左肩に陽子と中性子の合計数（質量数）を書き添えて「 ^{14}C 」と表記し、炭素14あるいはカーボンフォーティーンと読みます。



同位体	^{12}C	^{13}C	^{14}C
電子数 ●	6個	6個	6個
陽子数(Z) ●	6個	6個	6個
中性子数(N) ●	6個	7個	8個
質量数(A)	12	13	14
天然の存在量	98.89%	1.11%	約1兆分の1

天然に存在する同位体のなかには、不安定で放射線を出して安定な同位体になってしまうものがあります。これを放射性同位体と言います。炭素の場合には、 ^{12}C と ^{13}C が安定同位体で ^{14}C が放射性同位体です。 ^{14}C は、エネルギーのごく低いベータ線（電子）を放出して、 ^{14}N （陽子7個、中性子7個からなる原子）に変わります。このような現象を放射壊変と言います。

放射壊変の種類には様々なものがあります。一つの同位体でも二種類以上の放射壊変をすることもあります。例えば ^{40}K [カリウムの0.0117%を占める放射性同位体；カリウムには ^{39}K (93.2581%) と ^{41}K (6.7302%) の安定同位体がある] の場合、10.7% は電子捕獲で ^{40}Ar に、残りの 89.3% がベータ壊変で ^{40}Ca に変わります。

放射壊変の種類

・アルファ (α) 壊変

アルファ線（ヘリウムの原子核＝中性子2個と陽子2個）を放出。

	陽子数	中性子数	質量数
親	Z	N	A
娘	Z-2	N-2	A-4

・ベータ (β) 壊変

ベータ線（電子）を放出。原子核の中性子が陽子に変わる。

	陽子数	中性子数	質量数
親	Z	N	A
娘	Z+1	N-1	A

・電子捕獲

軌道電子を捕獲して、原子核の陽子が中性子に変化。

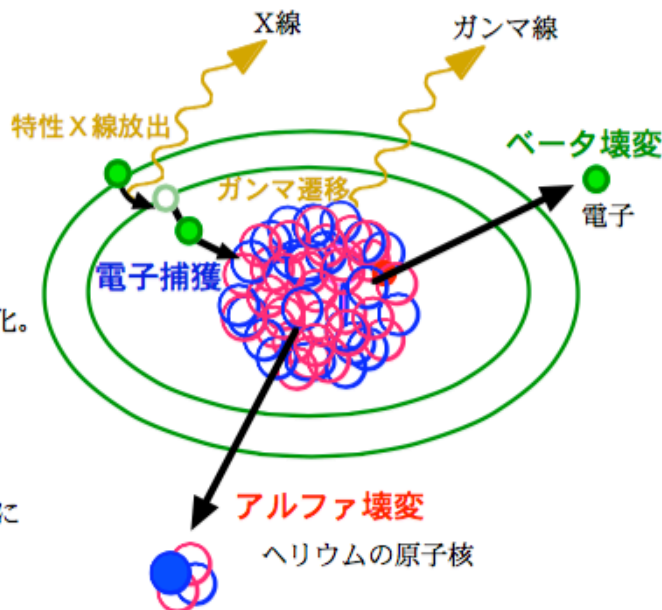
	陽子数	中性子数	質量数
親	Z	N	A
娘	Z-1	N+1	A

ガンマ (γ) 遷移

原子核が高励起状態から低エネルギー状態に移る際にガンマ線（光子）が放出される。

特性X線放出

外側の軌道にある電子が空になった軌道に落ち込んで、元素に固有な波長のX線（光子）を放射。



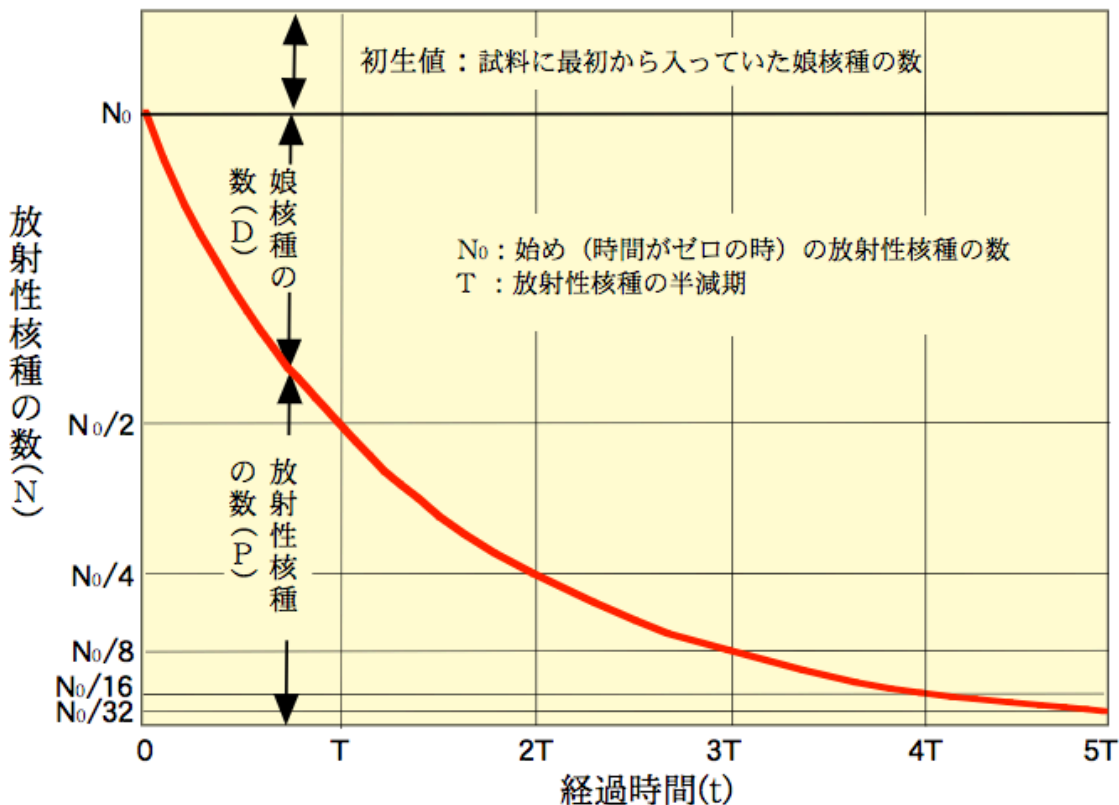
放射性同位体の半減期と年代測定法について

放射性同位体（放射性核種）は、放射壊変によって、より安定な原子（娘核種）に変化してゆきます。この速度は、存在する放射性核種の数(N)に比例し、温度や圧力など外界の条件には依存しません。この関係は、

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad (\lambda : \text{壊変定数})$$

という式で表されます。この式を解くと、最初に N_0 個あった放射性核種は下図の赤線のように減っていくことが分かります。即ち、 N_0 個の放射性核種は一定の時間(T)が経過すると半分になり、更に同じ長さのT時間が経過すると半分の半分(4分の1)、もう一度T時間が経過すると8分の1に減少します。この半分になる時間(T)を半減期といいます。半減期は、炭素14では5730年、カリウム40では12.8億年、ウラン(^{238}U)では44.7億年と、核種によって違ってきます。

半減期(T)と壊変定数(λ)の間には $T = 0.693 / \lambda$ の関係があります。半減期の長い核種は地球の歴史のような何十億年という年代を測定するのに使います。一方、人類の遺跡など数万年前までの年代測定には半減期の短い放射性炭素(^{14}C)を利用します。



放射性核種を利用した年代測定法には、次の2通りがあります。

- (1) 現在の放射性核種の数 (P) を測定する方法

$$P = N_0 \exp(-\lambda t)$$

年代測定総合研究センターでは、この方法を ^{14}C 年代測定に使っています。

- (2) 現在の放射性核種の数 (P) と娘核種の数 (D) の両方を測定する方法

$$D = P \{ \exp(\lambda t) - 1 \}$$

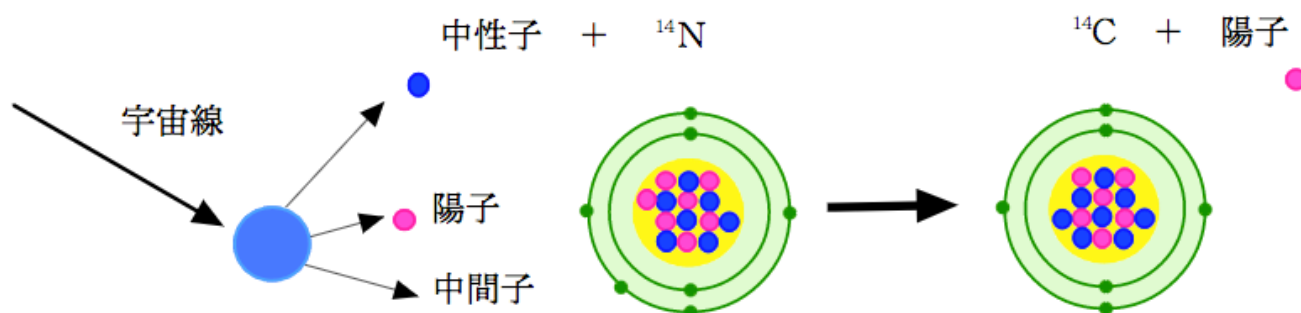
最初の原子の数 N_0 がわからない放射性核種に適応できます。この方法では、娘核種と初生値を区別することが重要です。

年代測定総合研究センターでは、この方法をCHIME年代測定とRb-Sr年代測定に使っています。

天然の放射性同位体

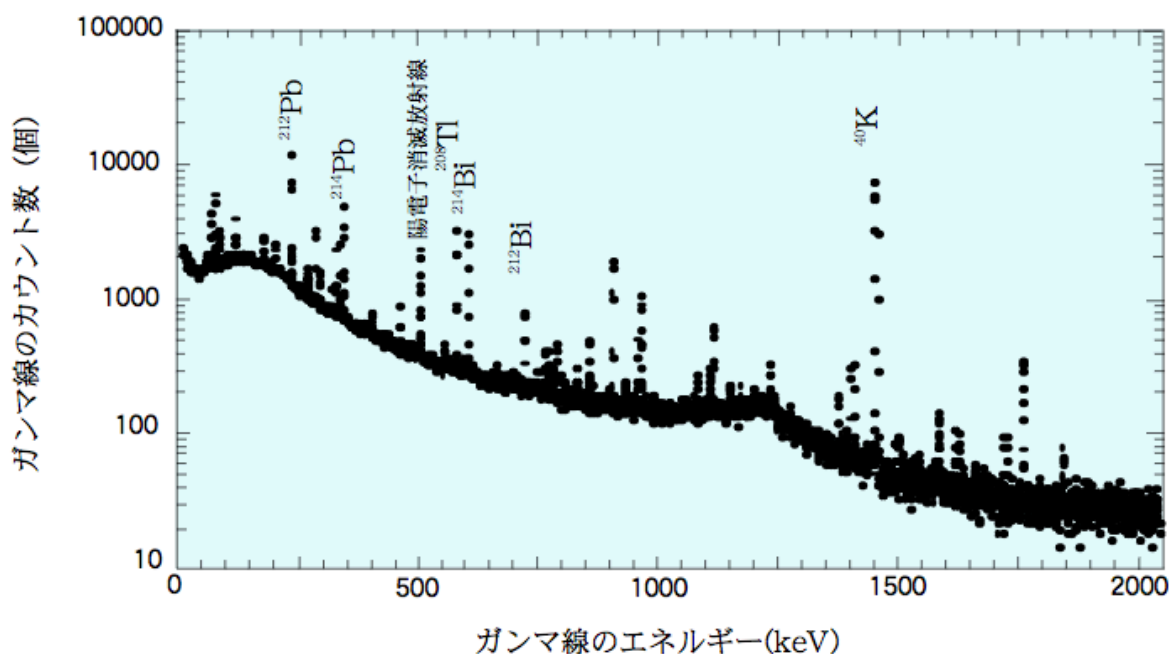
放射性同位体は、半減期の10倍の時間が経過すると約1000分の1に、20倍の時間が経過すると約100万分の1に減少してしましますが、半減期が5730年の ^{14}C が現在でも自然界で検出できるのは、この同位体が壊変して減少する一方で、常に大気中でつくられ続けているからです。

宇宙から地球に飛び込んでくる宇宙線が大気に当たると、原子核をバラバラにするような激しい核反応が起こります。ここで生じた中性子が大気の主成分である窒素(^{14}N)と反応すると、 ^{14}N は陽子を放出して ^{14}C に変わります。 ^{14}C は二酸化炭素(炭酸ガス)になって大気中に留まり、半減期5730年のベータ壊変によって ^{14}N になります。 ^{14}C の生成と壊変がつり合って、大気中の ^{14}C 濃度は一定になっています。



^{14}C と同じように宇宙線で作られた地球上の放射性同位体には、 ^3H (半減期12.3年), ^7Be (半減期53.3日), ^{10}Be (半減期150万年), ^{26}Al (半減期70.5万年) などがあります。これに対して、ウラン(^{235}U と ^{238}U)・トリウム(^{232}Th)・カリウム(^{40}K)・ルビジウム(^{87}Rb)など半減期が7億年以上の放射性同位体は、現在の太陽系(地球)ができる前に超新星爆発の元素合成によってつくられたものです。

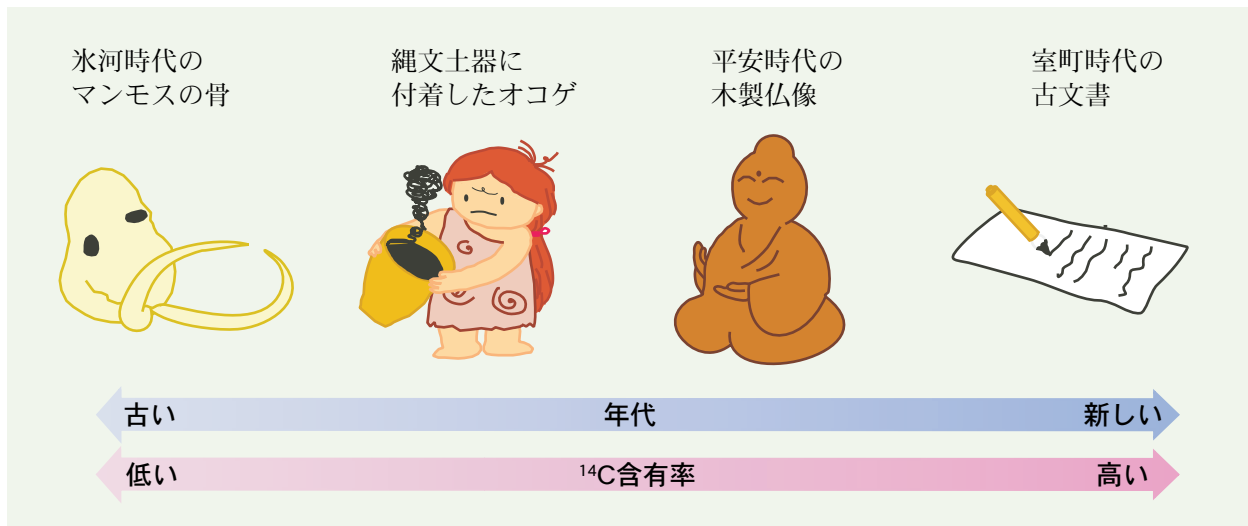
放射能と聞くと、つい身構えてしましますが、天然には様々な放射能が存在します。放射性の ^{40}K はカリウム全体の0.0117%しか存在しませんが、体重60Kgの人の体内では毎秒約3000個の ^{40}K が放射壊変をしている計算になります。生物の体を作る炭素にも放射性の ^{14}C があります。その存在割合は1兆分の1ですが、人間の体全体では莫大な数になります。岩石や土壌あるいは建物のコンクリートからも微弱な放射線がでています。下の図は、岩石の小片から出てくるガンマ線を高感度の検出器で測定したものです。岩石中の ^{40}K が電子捕獲によって ^{40}Ar に壊変するときに放射される1460.8keVのガンマ線、陽電子と電子の対が消滅して放出される511.1keVの陽電子消滅放射線が認められます。また、岩石中に数~数十ppm(百万分の1)存在するウランやトリウムが、複雑な放射壊変系列を経て、安定な鉛に変わっていくときに放射されるガンマ線も検出できます。



加速器質量分析計による¹⁴C年代測定法の原理

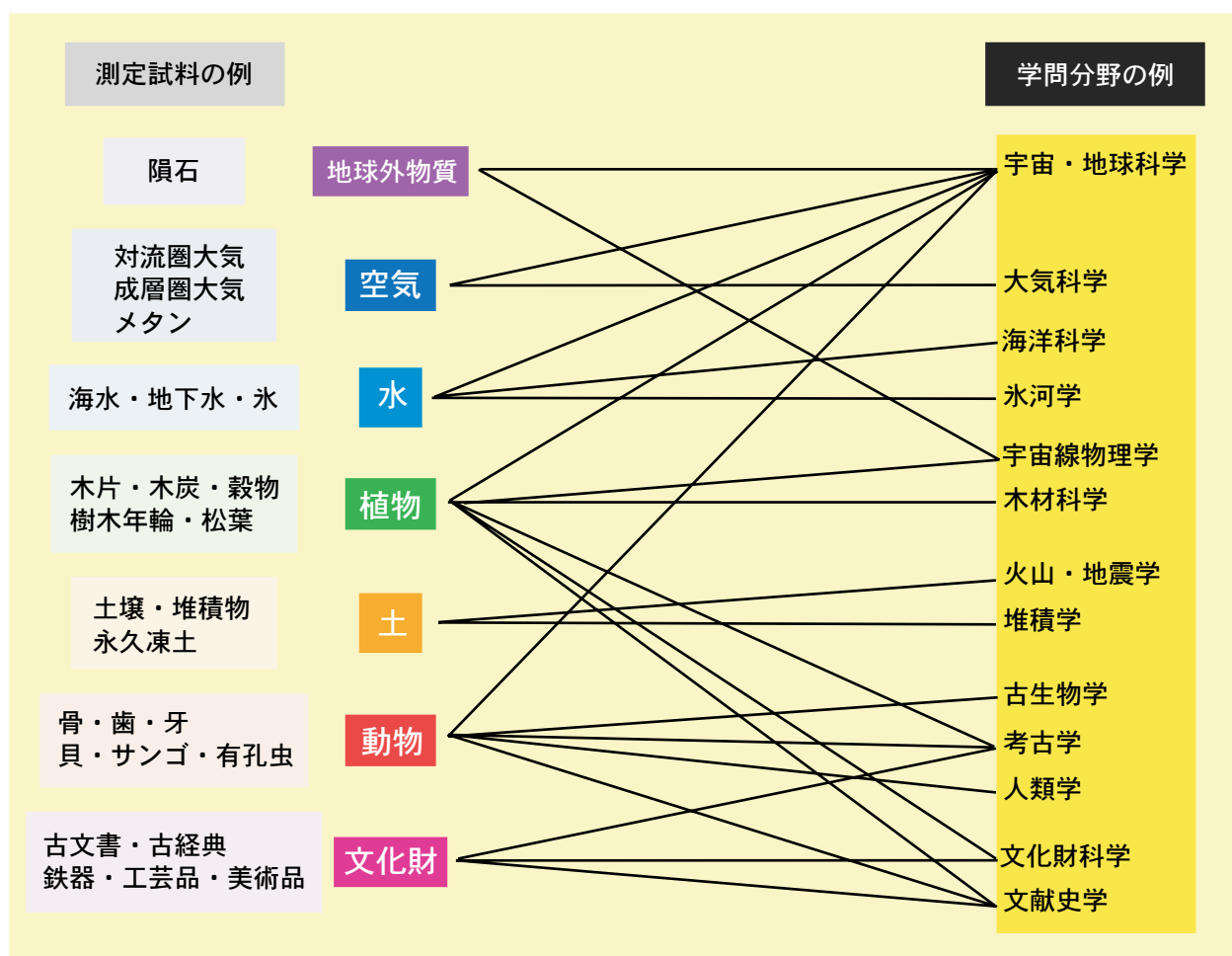
¹⁴C年代測定法の原理

¹⁴C年代測定法は、木・炭・紙など、炭素を含む試料についての年代測定法です。炭素（元素記号C）は、さらに細かく¹²C、¹³C、¹⁴Cの三種類に分類されますが、¹⁴Cの含まれている割合は試料の古さによって変化します。古い試料ほど¹⁴Cの含有率が低いのです。この点を利用して、¹⁴C含有率を測定することによってその試料の古さ（年代）を求めるのが¹⁴C年代測定法です。



¹⁴C年代測定法で成果を上げてきた分野

例えば、このようなものが測定されています。

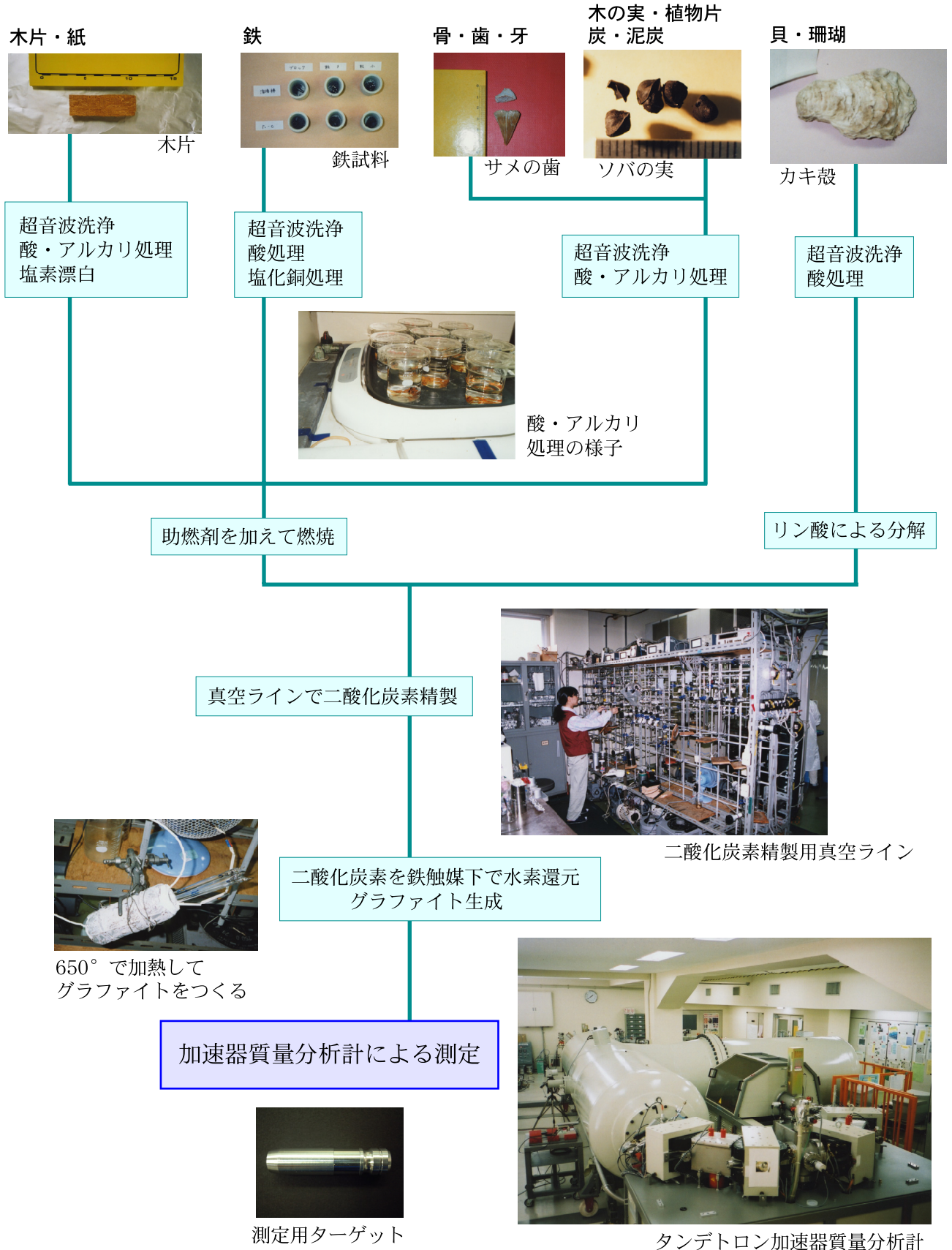


^{14}C を用いた年代及び環境研究



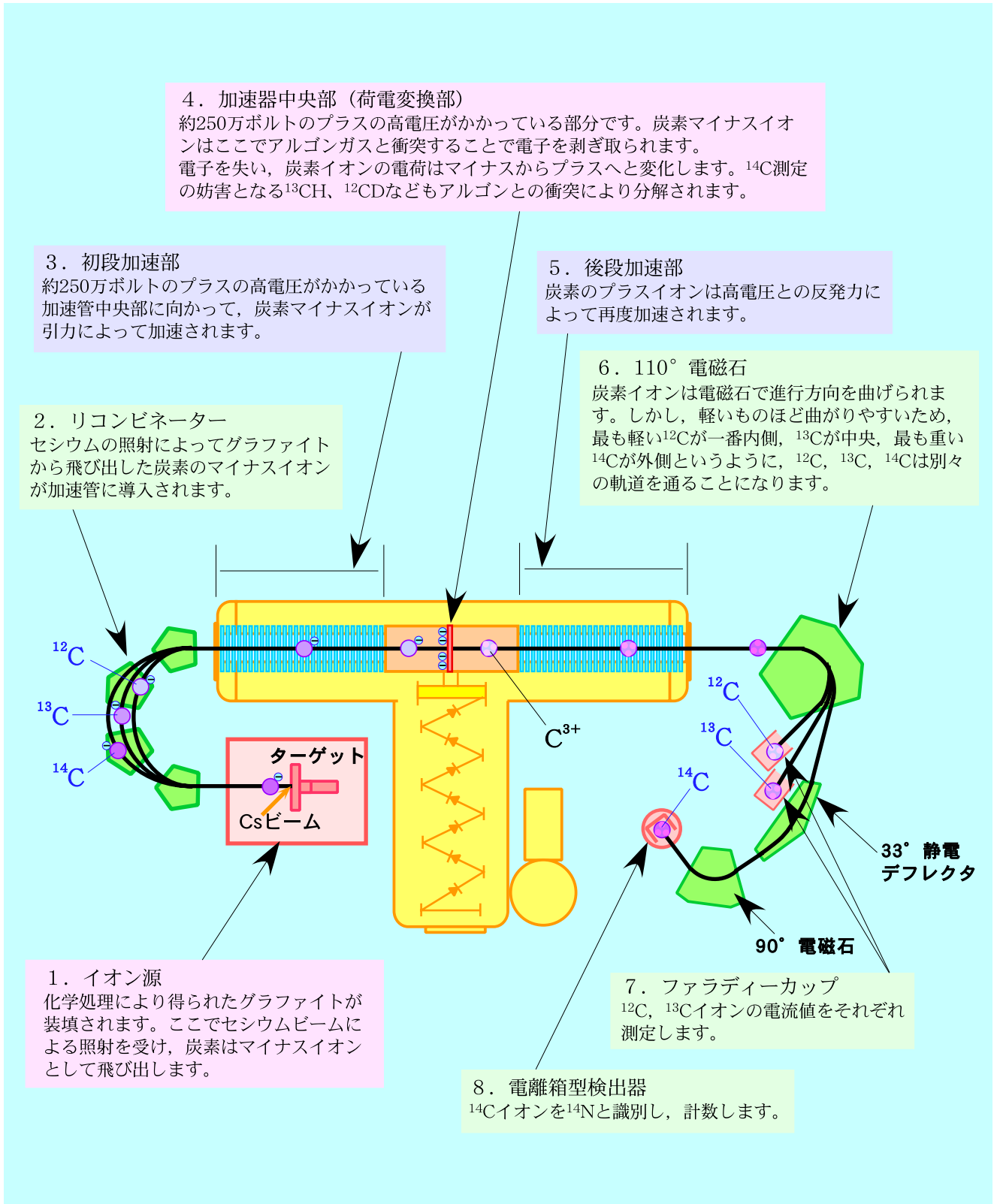
試料調製

^{14}C 年代測定では、木炭などの試料をそのまま測定器に入れると直ちに年代が出てくるといわけにはゆきません。これら試料は、炭素 (C) 以外にも水素 (H) , 酸素 (O) など様々な元素から構成されています。また、長い年月をかけてしみ込んだ不純物が含まれています。手垢やほこりなども付着しています。それゆえ、測定を行う前に、試料からこうした不純物を除き、試料固有の炭素だけを取り出す化学処理が必要となります。



タンデム加速器質量分析計

^{12}C , ^{13}C , ^{14}C の左肩にある12, 13, 14は原子の重さを表す数字です。 ^{12}C が最も軽く ^{14}C が最も重いことを表しています。加速器質量分析法では、この重さが異なる点を利用し ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C を分離して、それぞれを測定します。また、 ^{14}C と同じ重さをもつ ^{14}N （窒素）や分子型イオン（ ^{13}CH , ^{12}CD など）と識別し ^{14}C を測定します。



化石骨を直接年代測定する

従来、考古遺跡から発掘される古人骨や獣骨の ^{14}C 年代測定を行うことは現実的ではないと考えられてきました。特に、年代がかなり古いと思われるナウマン象やマンモス象の臼歯、切歯、骨などの試料については、氷浸けの状態が多量に出土するシベリアのマンモスの化石を除くと、ほとんど年代測定の例はなかったといえます。しかし、1980年代になって、測定に必要な炭素試料が数ミリグラムと少量ですむ加速器質量分析法が実用化され、化石試料の直接測定が現実的なものとなりました。日本では、日本海山陰沖海底産の哺乳類化石や野尻湖湖底堆積物層から採取されたナウマン象、オオツノシカなどの臼歯や切歯そのものについて、名古屋大学のタンデトロン加速器質量分析計による ^{14}C 年代測定が行われました。

1960年ころ愛媛県西宇和郡三崎町名取梶谷鼻沖で採取され、永く同地の資料館に保管されていたナウマン象臼歯化石について、タンデトロン加速器質量分析計を用いて ^{14}C 年代測定を行った結果を紹介します。

年代測定には、臼歯に含まれるタンパク質（ゼラチンコラーゲン）を用いました。今回の測定では、タンデトロン加速器質量分析計2号機を用い、さらに臼歯資料の処理にアルカリ処理のステップを新たに取り入れた結果、 $43,670 \pm 440[\text{BP}]$ (NUTA2-1678)、 $43,880 \pm 450[\text{BP}]$ (NUTA2-1679)（2回の独立な測定）と得られました。また、臼歯資料から、より根元的な有機物であるアミノ酸を抽出して測定した結果、 $43,870 \pm 450[\text{BP}]$ (NUTA2-1681)とゼラチンコラーゲンとよく一致する結果が得られました。最終氷期の中頃に生きていたナウマン象と考えられます。



愛媛県西宇和郡三崎町名取梶谷鼻沖で採取されたナウマン象臼歯化石試料。抽出したアミノ酸について ^{14}C 年代が $43,870 \pm 450[\text{BP}]$ (NUTA2-1681)と得られている。



土器付着炭化物の¹⁴C年代測定による土器の編年

青森県東津軽郡蟹田町の大平山元I遺跡の発掘が1998年7月に行われた際に、更新世の終わり頃のローム層から、旧石器の特徴を残す長者久保文化の石器と共に無文土器の破片が46点発見されました。これらの土器片から5点を選び、表面にわずかに付着していた炭化物を削り取って¹⁴C年代測定を行うと、これまでに得られている土器の年代のなかで、最も古い¹⁴C年代である12,680～13,780 [BP]が得られました。

これまで、土器の年代は、土器片が発見された地層から採取された木炭片や植物片などの有機物について測定された¹⁴C年代から推測されてきました。しかし、土器と木炭片や植物片には直接の関係はありません。土器付着炭化物は、ごく少量しか得られないことがありますが加速器質量分析法では年代測定が可能です。土器を用いて食物を煮炊きした際の食物のオコゲですから土器が使用された時に付着したものにまちがいはなく、土器の使用年代を確実に示します。

この土器付着炭化物の¹⁴C年代12,680～13,780 [BP]は、¹⁴C年代-暦年代校正曲線を用いて、実際の年代に換算すると15,320～16,540 [cal BP]と得られます。

最古級の土器は、ロシア極東域、中国、日本で見つかっています。最古の土器がどこで、いつ、なぜ作り出されたかが注目されていますが、それらの土器の年代決定に、極微量の炭素で高精度の年代測定ができる加速器質量分析法が役立っています。また、青森県三内丸山遺跡の円筒土器を始めとして、さまざまな遺跡から出土した土器について、付着炭化物の¹⁴C年代測定から土器の正確な年代を決める、土器の高精度編年の研究が進められています。



青森県東津軽郡蟹田町の大平山元I遺跡で発掘された長者久保文化期の土器片

加速器質量分析法による古文書の¹⁴C年代測定

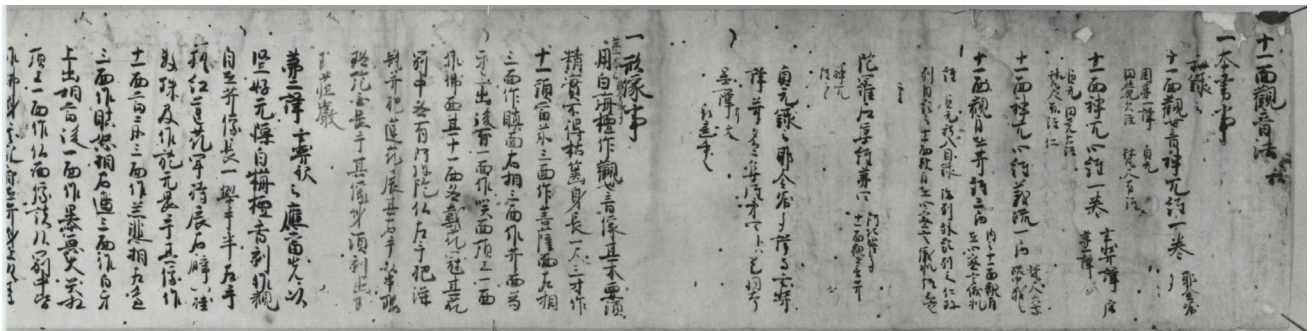
加速器質量分析法の最も重要な特徴の一つは、数ミリグラムの炭素試料で¹⁴C年代測定を行うことができることにあります。そのため、加速器質量分析法が開発されたことで、元々量の少ない資料、鉄器のように炭素含有量の低い資料、美術品・工芸品といった貴重な資料などの¹⁴C年代測定も可能になりました。

古文書も加速器質量分析法によって¹⁴C年代測定が実現した資料のひとつです。これまで名古屋大学では、数十点の古文書について¹⁴C年代測定を行ってきました。ここではそうした研究の一部を紹介します。

「十一面観音法」紙背書状（愛知文教大学・増田孝教授所蔵）

平安末期から鎌倉初期に書写されたと推定される「十一面観音法」です。数枚の楮（こうぞ）紙を張り合わせた巻物ですが、その裏面をみると、もともとは書状に使われていた紙であったようです。つまり書状の裏側を再利用して書かれたものです。書状の方は鎌倉初期特有の法性寺流とよばれる書風で書かれており、字句・文意・文体などから考えると、差出人は上級貴族と推定することができます。

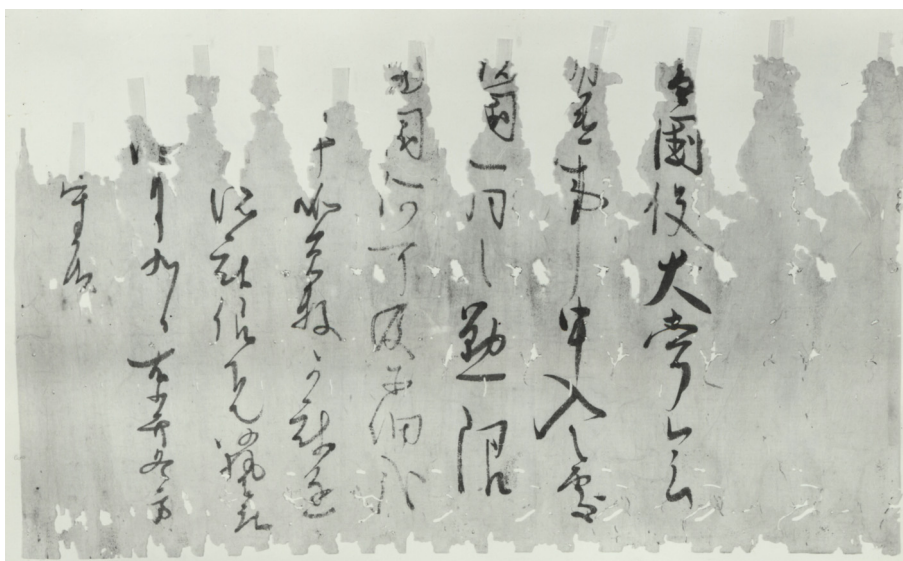
この史料について、¹⁴C年代測定を行ったところ、845±52 [BP]という結果が得られました。これは、西暦に換算するとAD1166～1262年頃に相当し、「十一面観音法」の書風の面から推定されていた平安末期から鎌倉初期という年代を裏付ける結果となりました。



右少弁吉田冬方奉御教書（愛知文教大学・増田孝教授所蔵）

書風の面から鎌倉末期～南北朝期に書かれたと考えられる書状です。この書状の差出人の欄には「右少弁冬方」とあります。「右少弁」という職名、「冬方」という人名から、差出人には吉田冬方という人が考えられます。さらに、文中に「大嘗会」とありますが、吉田冬方が右少弁の職に就いていた時期から判断すると、文保二年（1318年）の後醍醐天皇即位後の大嘗祭に際して書かれた書状であるということになります。

この史料についても¹⁴C年代測定を行ったところ、西暦1310～1413年頃に相当する582±48 [BP]という結果が得られ、文書の内容と書風とから判断される年代を支持する結果になりました。



<input type="checkbox"/>	(当) 國役大嘗会
<input type="checkbox"/>	用途 事申入之處
<input type="checkbox"/>	國一同之勲限
<input type="checkbox"/>	國何可及子細哉
<input type="checkbox"/>	(事) 如員數可被進
<input type="checkbox"/>	所被仰下也仍執達如件
<input type="checkbox"/>	八月九日 右少弁冬方
<input type="checkbox"/>	守殿

名古屋大学所蔵古文書の整理・研究

本センターでは、古文書の¹⁴C年代測定法の検証とあわせ、木曾三川流域治水史料の宝庫として知られる旗本交代寄合高木家文書など、本学が所蔵する10万点をこえる古文書の整理・研究を進めています。以下では、新しく確認された文書を中心に、本学所蔵史料からうかがえる、古文書が有する豊かな情報世界の一端を紹介いたします。

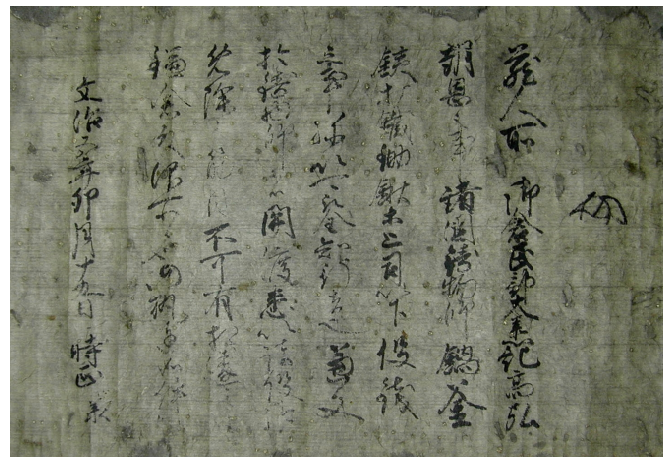
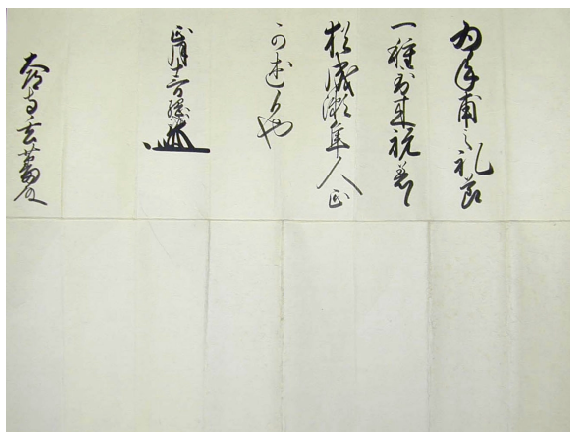
徳川綱誠年頭挨拶返札 [年未詳1694~99年] 正月13日 (大道寺家文書・博物館架蔵/写真左)

尾張藩家老大道寺家が他の御三家当主から受ける返札は縦紙ですが、これは主君(尾張藩主)ゆえ、薄札となる折紙を用いた返札です。しかも、将軍が出す御内書という尊大な様式がとられています。新発見の大道寺家文書には、幕閣や有力大名の書状類が多く、文書様式の検討を通して、当該社会における身分・格式のあり方を考察することができます。

源頼朝袖判御教書 文治5年(1189)卯月19日 (真継家文書・文学部所蔵/写真右)

戦国時代以降、朝廷権威を背景に全国の鋳物師(鍋・釜・梵鐘などの铸造職人)を支配した朝廷官人真継家に伝来したもので、源頼朝が朝廷官人紀高弘に鋳物師支配権を認める内容の偽文書です。すでに「写」の存在が知られていましたが、これは新たに見つかった「原本」です。注目されるのは、宿紙(天皇の意志を伝える論旨などに使用される再生紙)を用いた点で、朝廷と関わる偽造者の文書認識を露呈したものです。真継家は、こうした偽文書を駆使して戦国大名にも働きかけ、明治初年まで続く鋳物師支配の基礎を固めました。

このような偽文書は、これまで史料的价值が低いと見なされてきましたが、当該文書等の研究を契機に、偽作の動機・歴史的背景・社会的機能などを読み解くことで、貴重な史料として活用できることが証明されました。さらに、¹⁴C年代測定法による偽造年代の特定が進めば、偽文書が大量に作成され機能した戦国・近世社会の特質解明にもつながるものと期待されます。



百姓印章 宝永元年(1704) (高木家文書・附属図書館所蔵)

高木家文書の特徴づける治水史料の中には、木曾三川流域の村々から提出された多数の文書が含まれています。そこに押されたハンコに注目することで、百姓印章の研究に先鞭がつけられました。ハンコのデザイン・寸法等の比較・検討を通して、階層差とともに顕著な時期的変化が確認されており、今後さらに異なる地域・身分にも対象を広げることで、年代判定の有力な手がかりが得られます。なお、民衆のハンコ使用は江戸時代に入ってからですが、身分制を反映して墨または黒の印肉が用いられ、苗字使用も稀でした。現在のような朱肉・苗字印使用が一般化するのには、明治以降のことです。

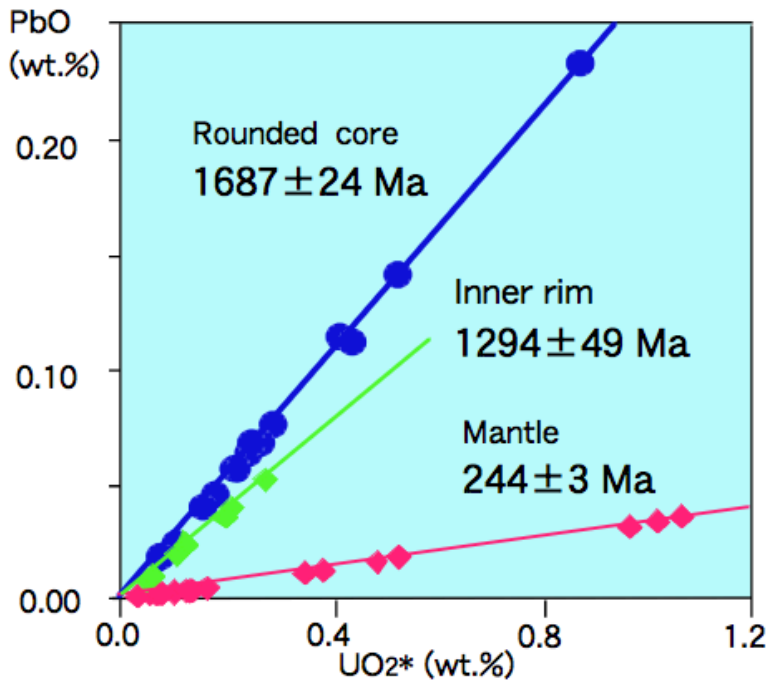
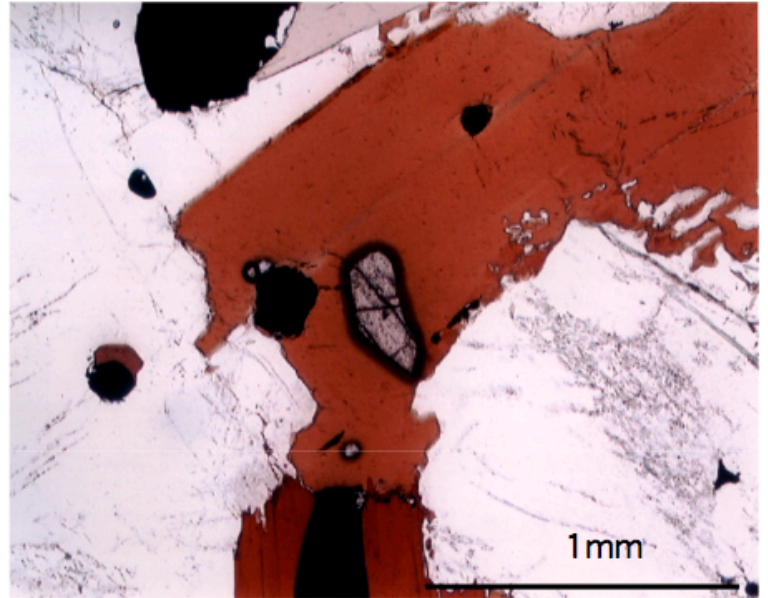
* 18世紀初は、「榮」など、家の繁栄を願う吉字が主流ですが、やがて2字の実名が増加してきます。

以上のように、古文書(含偽文書)には、記述内容からうかがえる様式・機能などのほか、書風や花押、印章・印肉、料紙である和紙や墨など、原本(「モノ」)としての情報が豊富に含まれています。保存に配慮しつつ、これらの情報を抽出し効果的に活用するならば、閑却されてきた歴史の復元や非破壊による高精度の年代判定など、多くの貢献が可能となります。

CHIME年代測定法：Chemical Th-U-total Pb isochron method

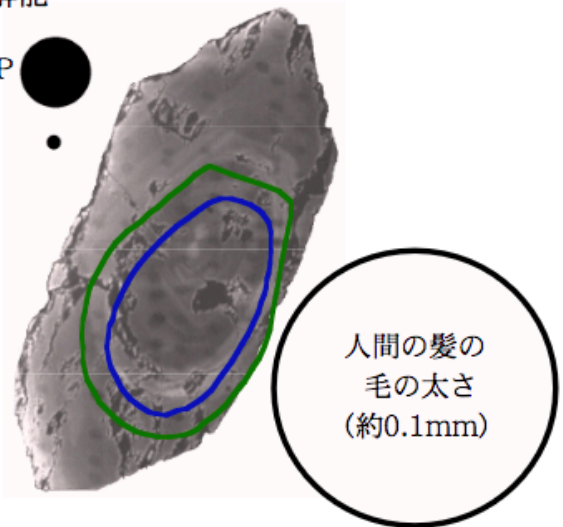
モナザイト[(La,Ce,Nd)PO₄]やジルコン[ZrSiO₄]は岩石中に普遍的に極少量含まれる鉱物です。これらの鉱物はウランやトリウムを多く含んでいます。右の写真は黒雲母(茶色)に包有されるモナザイトです。モナザイト中でウランやトリウムが鉛に壊変する際に放出される放射線に被曝して、周囲の黒雲母の結晶構造が壊れて黒く見えます。

モナザイトやジルコンは、熱に対して頑強なため高温の変成作用を受けたりマグマに取り込まれたりすると、2次成長ではっきりとしたコア-マントル構造を形成することがあります。コアとマントルは、それぞれ結晶してからの時間を刻んでいるので、各部分ウラン・トリウム・鉛を分析して年代(サブグレイン年代)が決定できれば、岩石が受けてきた全地史が解析できます。



* Ma は100 万年を表す単位です。100Maで、1 億年になります。

空間分解能



名古屋大学では、高性能化した電子線マイクロアナライザでモナザイトやジルコン粒子の各部分のTh・U・Pbを分析して年代を決定する新しい方法(CHIME法)を開発しました。サブグレイン年代測定ができるのは、現在でも名古屋大学のCHIMEとオーストラリア国立大学のSHRIMPだけです。オーストラリア国立大学のSHRIMPは、鉱物をイオンビームでスパッタリングして放出されるウランと鉛の同位体を測定する方法(2次イオン質量分析)です。SHRIMPはCHIMEより高精度ですが、空間分解能は劣ります。どちらも、地球科学者自身が手作りで完成させた装置で、それぞれの特徴を生かして、世界のサブグレイン年代測定の研究をリードしています。

Suzuki, K., Adachi, M. and Tanaka, T. (1991): Sediment. Geol., 75, 141-147.
 Susuki, K. and Adachi, M. (1991): Geochemical J., 25, 357-376.
 Suzuki, K., Adachi, M. and Kajizuka, I. (1994): Earth Planet. Sci. Lett., 128, 391-405.



CHIME 年代測定用
電子線マイクロアナライザ

物質(鉱物)にエネルギーの高い電子線を照射すると、物質を構成する各原子が励起されて、各原子(元素)ごとに決まった波長の特性X線を放射します。電子線マイクロアナライザは、径1 μm程度に絞った高速電子線を物質(鉱物)に照射して、放射されるX線の波長と強度を測定して、微小領域の化学分析をする装置です。

天然のトリウム(Th)は質量数232の同位体を主体とし、ウラン(U)には質量数235と238の同位体があります。その現在量と、鉱物ができてからの経過時間(τ)の間に放射壊変で生じた鉛の量の間には、次の関係があります。

$$^{208}\text{Pb} = ^{232}\text{Th} \{ \exp(\lambda_{232} \tau) - 1 \}$$

$$\lambda_{232} = 4.9475 \times 10^{-11} / \text{y}$$

$$^{207}\text{Pb} = ^{235}\text{U} \{ \exp(\lambda_{235} \tau) - 1 \}$$

$$\lambda_{235} = 9.8485 \times 10^{-10} / \text{y}$$

$$^{206}\text{Pb} = ^{238}\text{U} \{ \exp(\lambda_{238} \tau) - 1 \}$$

$$\lambda_{238} = 1.55125 \times 10^{-10} / \text{y}$$

鉱物中には放射壊変起源の鉛と鉱物ができたときに取り込んだ少量の初生鉛が存在します。

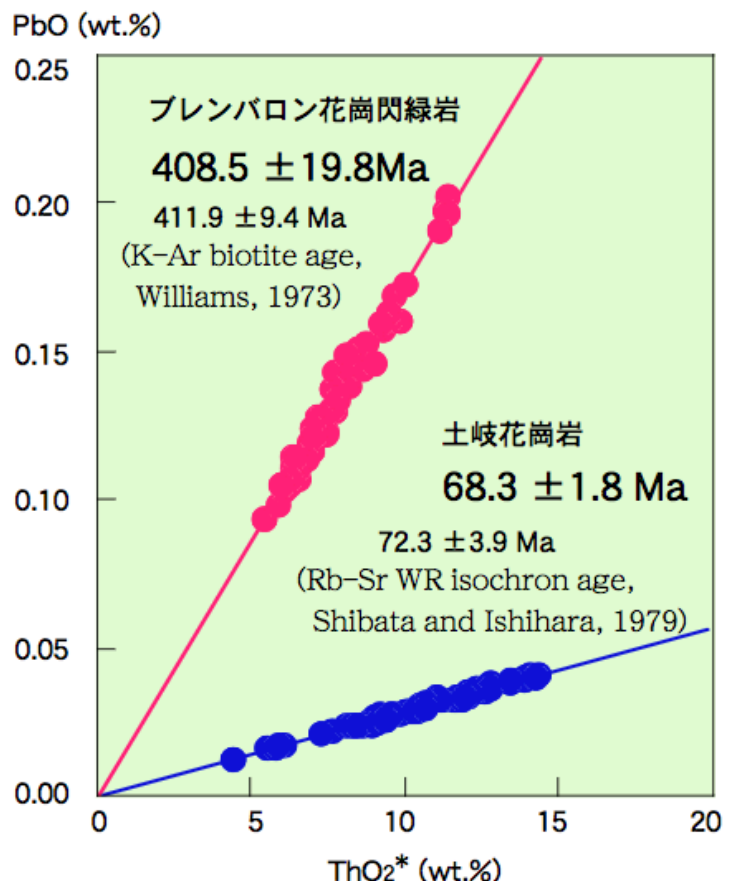
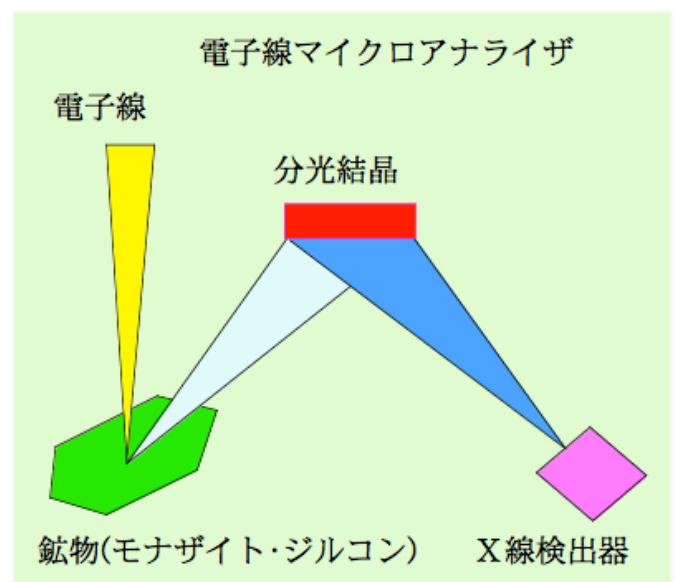
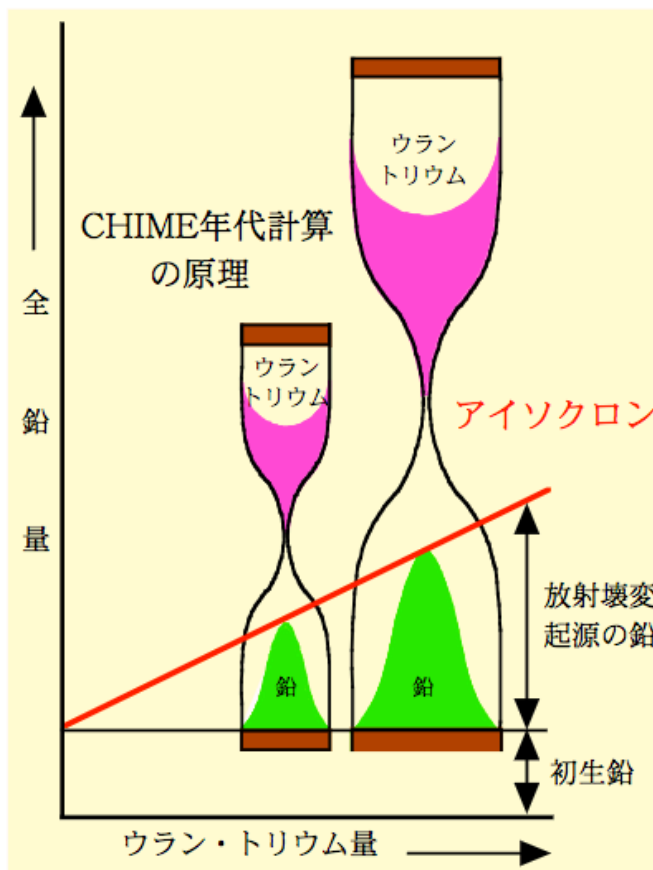
$$\text{全鉛量} = \text{初生鉛} + ^{232}\text{Th} \{ \exp(\lambda_{232} \tau) - 1 \} + ^{235}\text{U} \{ \exp(\lambda_{235} \tau) - 1 \} + ^{238}\text{U} \{ \exp(\lambda_{238} \tau) - 1 \}$$

U同位体の現在比 ($^{238}\text{U}/^{235}\text{U}=137.88$) を使うと、同位体を使わない式に書き直せます。

$$\text{全鉛量} = \text{初生鉛} + \text{Th} \{ \exp(\lambda_{232} \tau) - 1 \} + \text{U} \{ \{ \exp(\lambda_{235} \tau) + 137.88 \exp(\lambda_{238} \tau) \} / 138.88 - 1 \}$$

鉱物の中にはU・Thの多い部分(大時計)や少ない部分(小時計)があります。同じ時間が経つと、大時計では小時計よりたくさんの鉛が生じますが、鉛と残っているウラン・トリウムと割合は大時計も小時計も同じです。従って、鉛の分析値を通る直線(アイソクロン)は年代が古くなるほど急勾配になります。アイソクロンの切片は初生鉛の量を示します。鉱物中のいくつかの点を分析してアイソクロンを描くと、その勾配から年代、切片から初生鉛が同時に決定できます。

CHIME年代と同位体年代を比較してみると、両年代は大変よく一致しています。CHIME法によって得られる年代は地球惑星科学的なスケールでの議論には十分な精度があります。



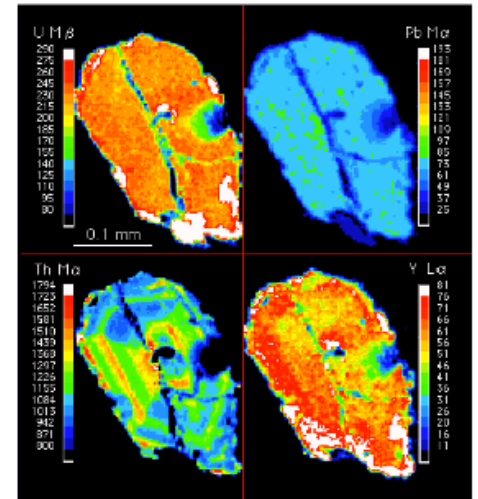
CHIME年代測定を試料

地球科学の研究では野外における岩石相互の関係を調査することが大切です。



岩手県大船渡市くさやみ沢の不整合露頭
砂岩が氷上花崗岩を不整合に覆っています。地下深部でできた花崗岩が地表に出てから砂岩が堆積しました。

氷上花崗岩中のモナザイト：単一結晶内でトリウム(Th)の量が違ってきます。

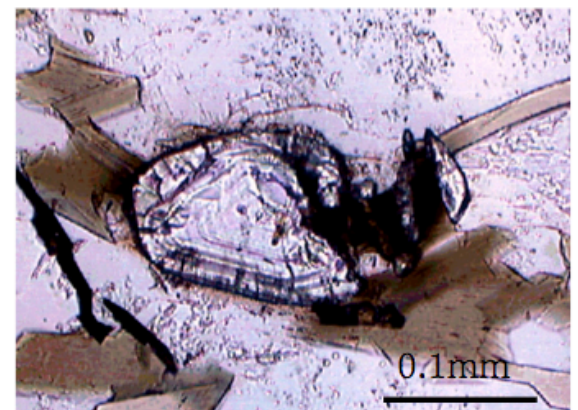


世界最古の岩石

カナダ、スレイプ地域のアキャスタ片麻岩。右のジルコンをCHIME法で測定して40.1億年の年代が得られています。SHRIMPで測定した年代は39.6億年と40.3億年です。

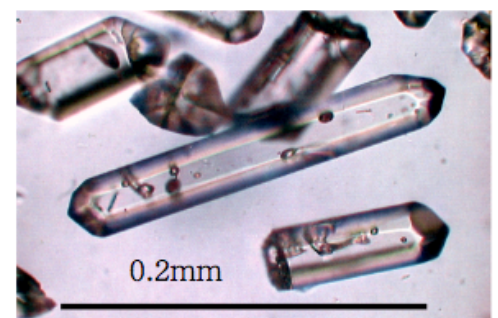
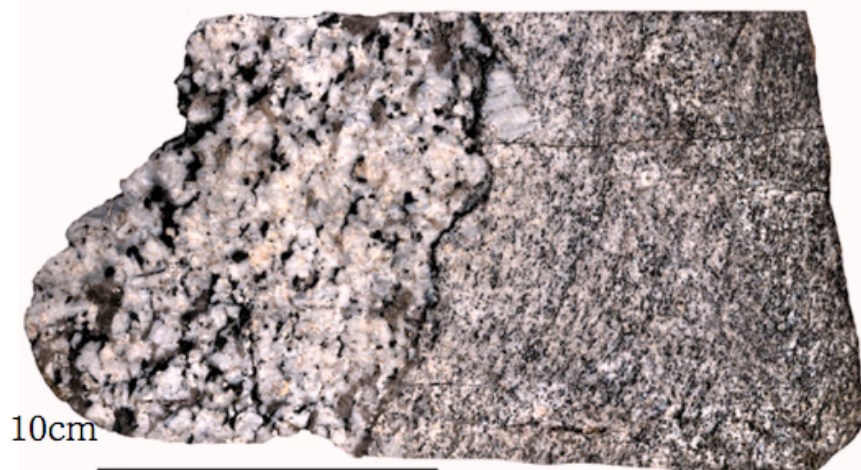


名古屋大学博物館蔵



中部地方領家帯における伊奈川花崗岩に貫入する武節花崗岩の接触部

花崗岩に花崗岩が貫入すると、先にあった花崗岩を構成する大部分の鉱物は後の花崗岩の熱で若返ってしまいます。それぞれの花崗岩ができた年代を決めるためには、熱に強いモナザイトやジルコンを測定する必要があります。CHIME法で伊奈川花崗岩(左)は8200万年、武節花崗岩は(右)7700万年前と決まりました。



花崗岩中のジルコンの自形結晶

「岩石薄片（プレパラート）」で年代測定

岩石試料の年代を測定するまでに

- 従来と同位体年代測定法
 - 岩石を粉砕して鉱物を分離
 - 鉱物を溶解して目的元素を化学的に分離精製 数日～1ヶ月
- CHIME法
 - 岩石の薄片（プレパラート）作成 3時間程度



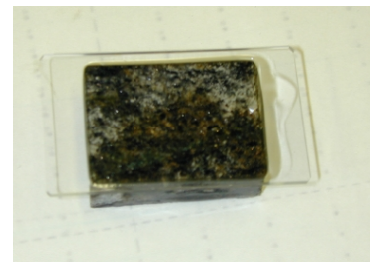
岩石をダイヤモンドソウで切断し、25×35mm程度で厚さが約8mmのチップを作ります。



回転研磨盤上で粗い研磨剤で削って平面を出します。次に、鉄板やガラス板上で、だんだんと細かい研磨材で擦って平らな接着面を作ります。



研磨した面をエポキシ系接着剤でスライドガラスに張り付けます。



試料をスライドガラスと平行に切った後、回転研磨盤で削って、0.5mm程度の厚さにします。その後、#400、#1000、#3000の研磨材で手擦りして、厚さ0.023～0.025mmまで薄くします。



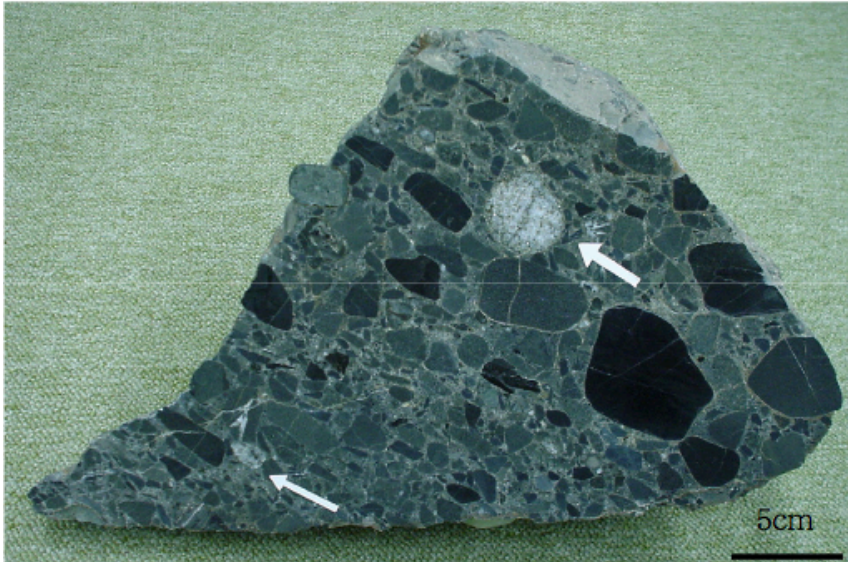
試料表面が鏡のように輝くまでダイヤモンド微粉末（0.5μm以下）で研磨します。



最後に、電流が流れるように試料の表面に炭素の薄膜をコーティング（蒸着）します。慣れてくると、切断からコーティングまでを3時間以内で終わることが出来ます。

日本最古の岩石中の日本最古の鉱物粒子

日本最古の岩石は、岐阜県加茂郡七宗町上麻生の飛騨川に分布する美濃帯上麻生礫岩中の、花崗片麻岩礫です。この岩石は20.5億年前に固結した花崗岩が17.5億年前に変成したものです (Shibata and Adachi, 1974)。上麻生礫岩は今から約1億6千万年前に堆積したものです。



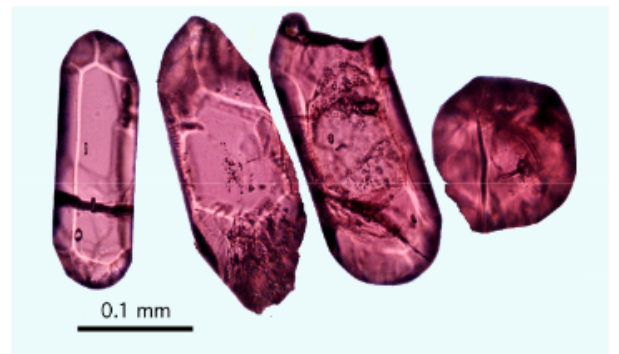
上麻生礫岩中の花崗片麻岩礫



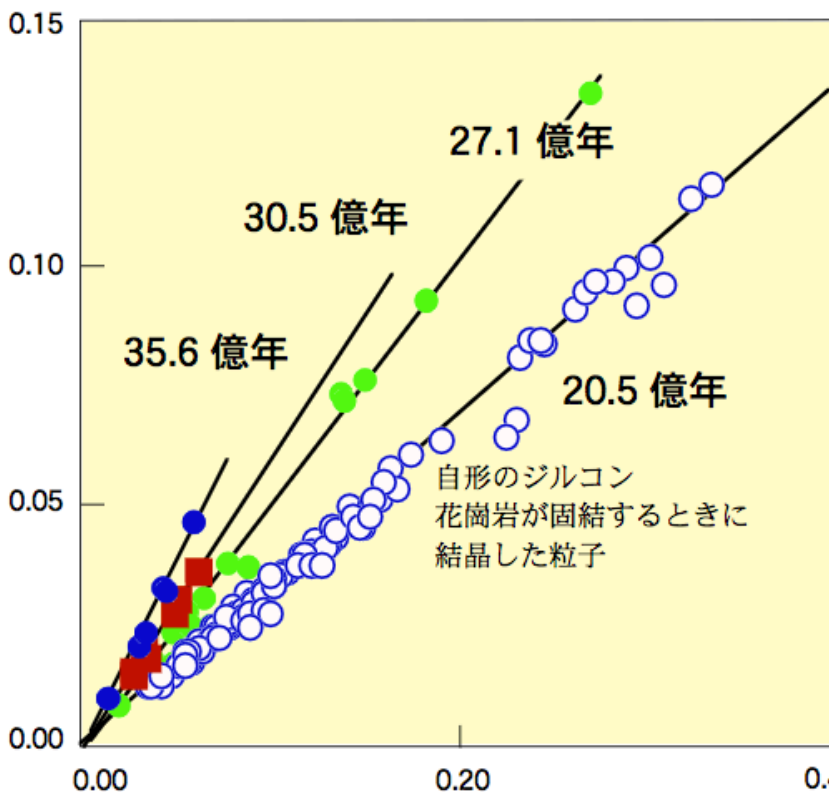
上麻生礫岩は美濃加茂市の北北東の飛騨川沿いに分布します。

上麻生礫岩 名古屋大学博物館蔵
矢印の先が花崗片麻岩礫で、黒や灰色の礫は砂岩や頁岩です。

花崗片麻岩中に入っているジルコンの形態を詳しく観察すると、結晶面や稜が明瞭な粒子（左）とよく円磨した粒子（右）があります。ジルコンは堅くて安定な鉱物ですから、変成作用で簡単には丸くなりません。この円磨粒子源岩となった花崗岩が20.5億年前に固結するとき周囲の岩石から取り込んだものと考えられます。従って、丸いジルコン粒子は20.5億年よりもっと古い年代を持つと考えられます。



PbO (wt.%)



日本最古の岩石中の円磨したジルコン粒子は27.1億年とか30.5億年あるいは35.6億年という古い年代を持っています。このような古い年代（始生代：25億年より古い時代）の岩石は世界的に見てもクラトンと呼ばれる安定大陸地域にしか産出しません。東アジアのクラトンでは、30億年を超える岩石は極めて稀にしか見つかりません。

日本列島では、上麻生礫岩の花崗片麻岩礫のほか、南部北上帯の壺の沢片麻岩・木曾福島の美濃帯砂岩・隠岐島後の飛騨片麻岩からも、30億年より古いジルコンやモナザイトの碎屑粒子が見つっています。20億年のジルコンや約17億年のモナザイトの碎屑粒子は日本列島の中・古生層やそれらを起源とする変成岩から普遍的に見つっています。

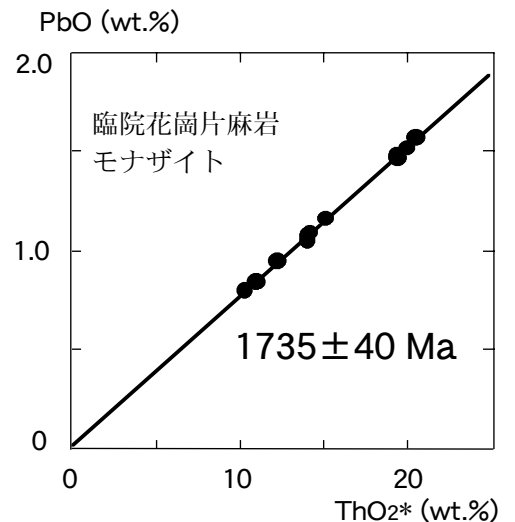
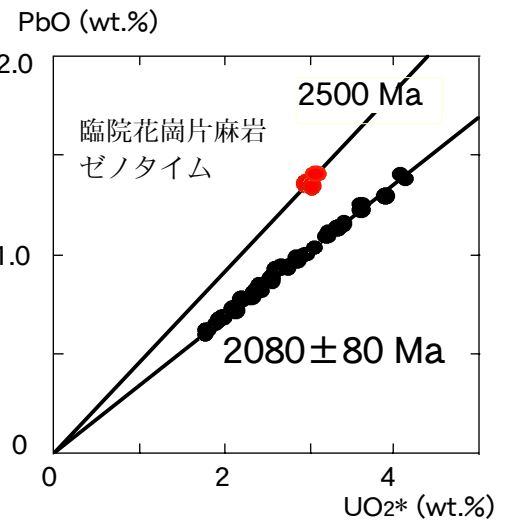
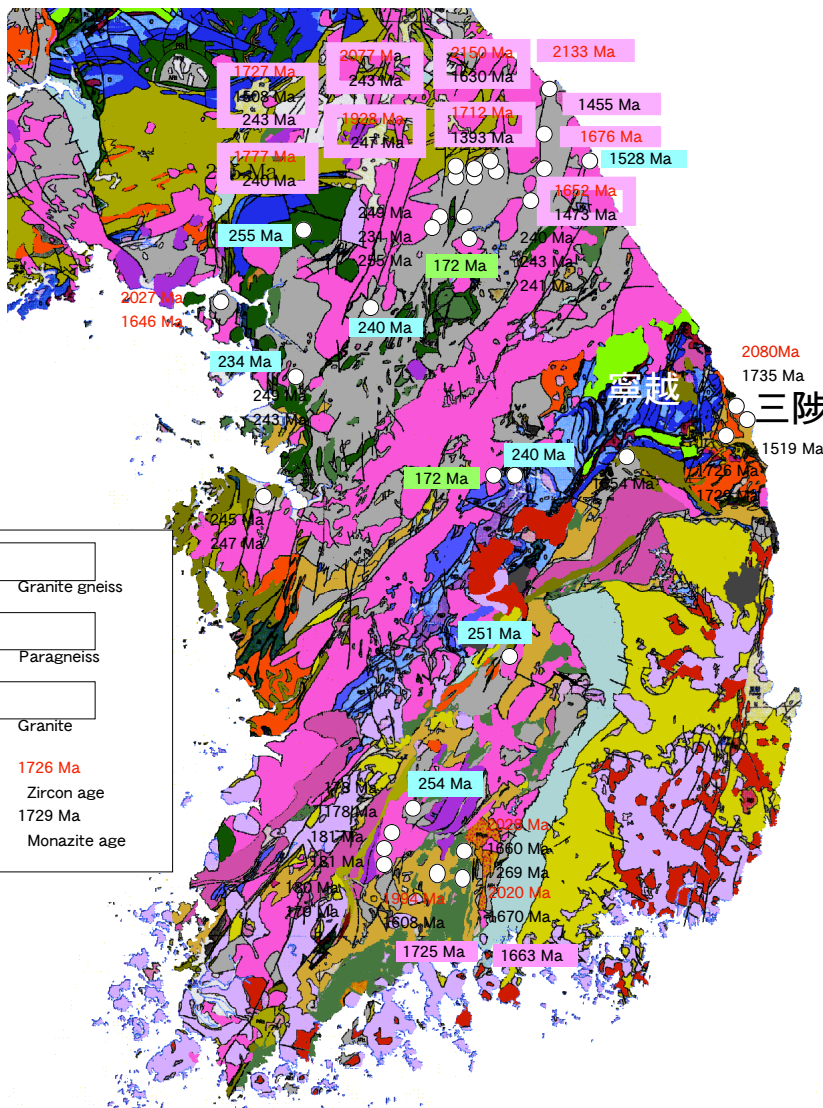
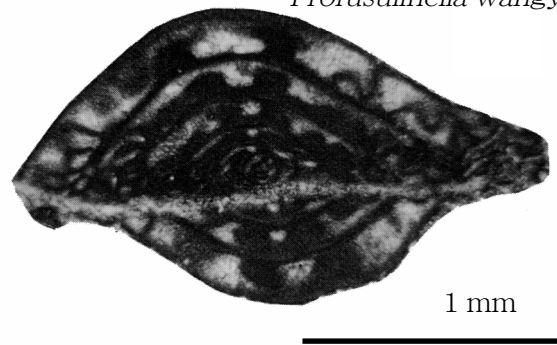
現在の日本列島には始生代の岩石はもちろん、原生代（25億年～5.9億年）の岩石も見つかっておりません。上麻生礫岩に含まれる20億年の花崗片麻岩礫の起源が地球科学の大きな課題です。

花崗片麻岩と一緒に産出する石灰岩中の*Profusulinella wangyui*を含む紡錘虫化石群集は、日本列島の石炭系よりも、コリア半島東部の寧越地域の石炭系に似ています。そこでコリア半島のカリ長石と珪線石に富む優白質な花崗片麻岩（ピンクの四角枠）のCHIME年代を測定しています。これまでの結果では、寧越地域に近い三陟（サムチョク）地域の臨院（イムウォン）花崗片麻岩だけが、花崗岩としての形成年代・高変成度変成年代とも、上麻生の花崗片麻岩礫の年代に一致しました。始生代（2500Ma）の鉱物粒子を含んでいる点も共通しています。

上麻生礫岩の花崗片麻岩礫のふるさととは
コリア半島東部の三陟地域である可能性が
高くなりました。

日本列島のルーツを求めて、今もCHIME年代学と地球科学の挑戦は続いています。

Profusulinella wangyui



足立・鈴木 (1993): 上麻生礫岩中の先カンブリア紀片麻岩礫の後背地は韓国東部か? . 名古屋大学古川研究資料館報告, No. 9, 25-45.

Suzuki, K. and Adachi, M. (1994): Tectonophysics, 235, 27-292.

Adachi, M. and Suzuki, K. (1994): J. Earth Planet. Sci., Nagoya Univ. 41, 33-43.

足立・鈴木 (1995): 地学雑誌, 104, 589-591.

年代測定が明らかにした元寇船碇（いかり）石の産地



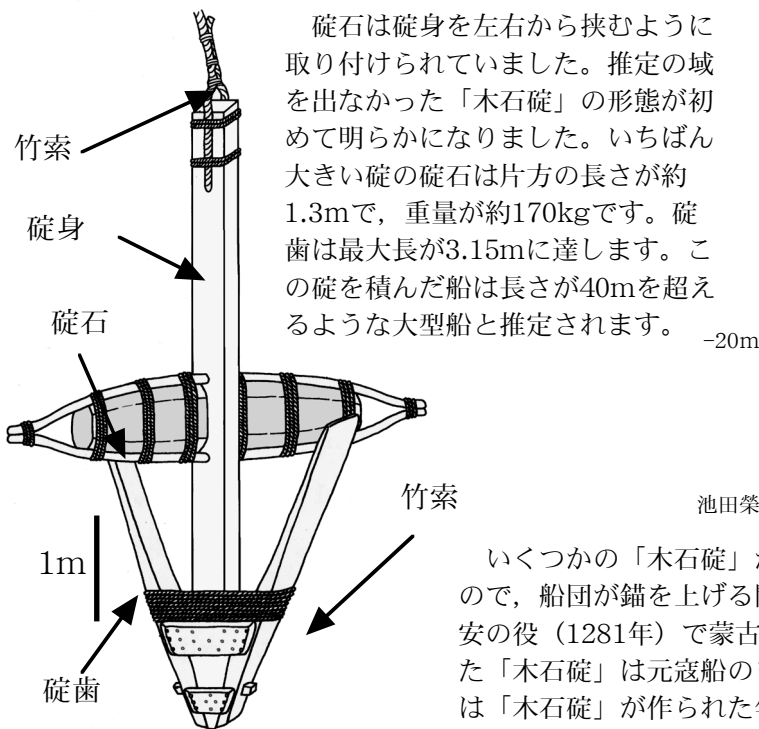
鷹島町埋蔵文化財センター所蔵

北九州の沿岸海底から、加工成形された長柱状の石材が数多く発見されています。これらの石材は「蒙古碇石」と呼ばれてきましたが、元寇の蒙古軍船のものかあるいは通商船舶のものかが確かめられたわけではありません。石材は漁網の錘としても使用されます。

長崎県北松浦郡鷹島町(伊万里湾)神崎地区の防波堤工事に伴う事前発掘調査(1994年・1995年)で、一対の碇石を装着した木製碇が多数発見されました。



鷹島町 神崎港



碇石は碇身を左右から挟むように取り付けられていました。推定の域を出なかった「木石碇」の形態が初めて明らかになりました。いちばん大きい碇の碇石は片方の長さが約1.3mで、重量が約170kgです。碇歯は最大長が3.15mに達します。この碇を積んだ船は長さが40mを超えるような大型船と推定されます。

-20m

海 底 面

-20m

-21m

池田榮史 (1996) 鷹島海底遺跡Ⅲ, pp31-62. (原図の南北を反転)

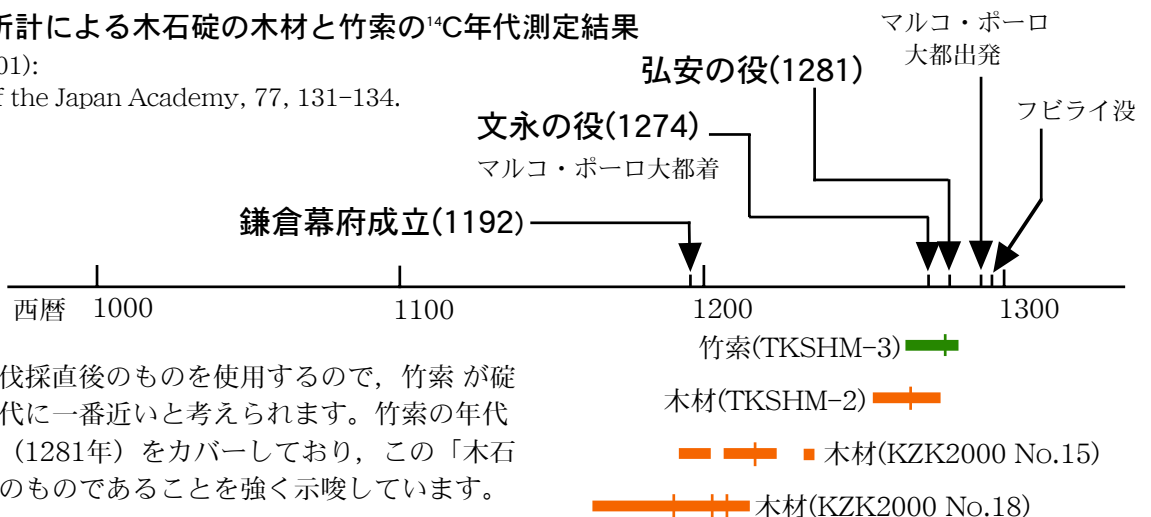
いくつかの「木石碇」が同じ方向を向いて同じ地層中に投錨されていますので、船団が錨を上げる間もなく遭難したことが考えられます。鷹島は、弘安の役(1281年)で蒙古軍が暴風雨にあって難破した所ですから、発見された「木石碇」は元寇船のものではないかと考えられます。これを確かめるには「木石碇」が作られた年代、即ち「木石碇」の材木と竹索の¹⁴C年代測定が鍵となります。

池田榮史 (1996) 鷹島海底遺跡Ⅲ, pp31-62.

加速器質量分析計による木石碇の木材と竹索の¹⁴C年代測定結果

Suzuki et al. (2001):

Proceedings of the Japan Academy, 77, 131-134.

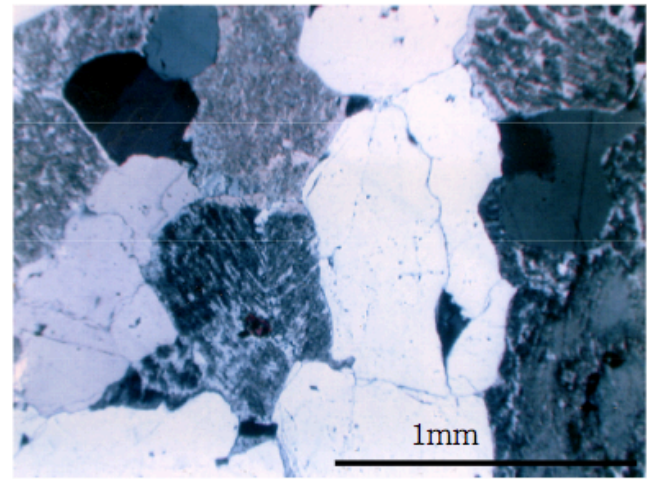


一般に、竹は伐採直後のものを使用するので、竹索が碇を作成した年代に一番近いと考えられます。竹索の年代は、弘安の役(1281年)をカバーしており、この「木石碇」が元寇船のものであることを強く示唆しています。

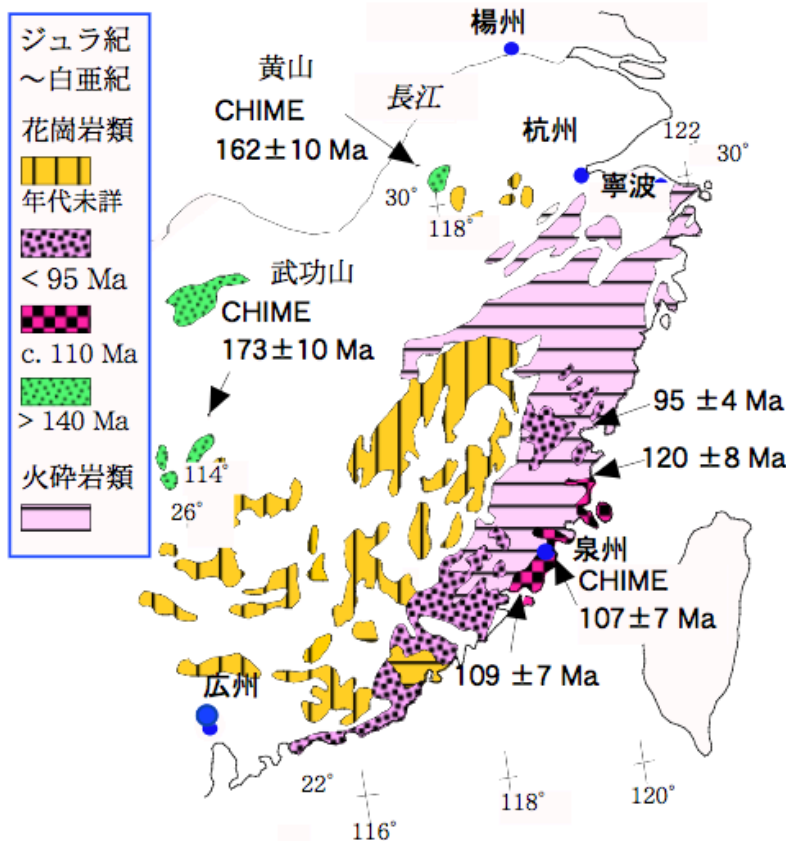
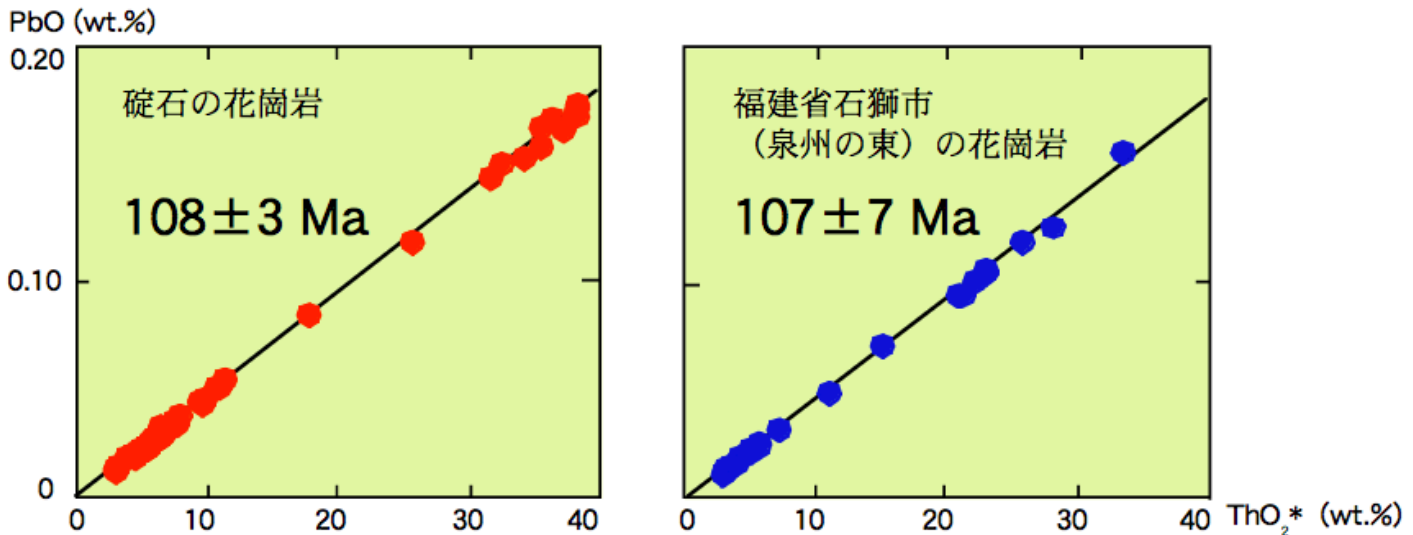
木石碇から推定される40m級の船は、当時の大型船に属するものです。蒙古は騎馬民族ですから、このような大型船を自ら建造したとは考えられません。フビライは、弘安の役に先立つ1279年に、中国南東部の揚州・湖南・泉州・広州とコリア半島の全羅道・慶尚道に造船命令を出しています。中国船は100,000人の江南軍（南宋の降軍）を、高麗船は35,000人の東路軍（蒙古・高麗連合軍）を輸送したと考えられています。

40m級の軍船の碇石は花崗岩でできています。この岩石はパーサイト組織の発達したカリ長石に富む、アルカリ長石花崗岩で、Rb/Sr比が高いのが特徴です。しかし、このような花崗岩はコリア半島にも中国大陸南東部にも産出しますので、花崗岩の化学組成だけでは中国船か高麗船かの決め手になりません。

コリア半島と中国大陸南東部のアルカリ長石花崗岩はできた年代が違うので、碇石の年代を測定すれば産地を特定することができます。しかし、多量の試料を必要とする従来の地質年代測定法では、貴重な碇石の年代測定ができませんでした。CHIME法なら偏光顕微鏡観察にを使った薄片で年代測定ができます。



碇石の偏光顕微鏡写真



碇石の花崗岩の年代は、中国大陸南東部でも特に、福建省泉州から金門島にかけて分布する花崗岩の年代に一致します。40m級の軍船は泉州付近で建造されたと考えられます。

泉州はムスリム貿易商人が根拠地にしてきた都市で、商業だけでなく、航洋船の造船も盛んでした。マルコ・ポーロは「東方見聞録」で泉州の造船を詳しく記述しています。『船体は二重張り、甲板は一層で、甲板には多数の船室がある。マストは4本で、倒すことのできる補助マストが2本ある。船倉は頑丈な板で幾つかに区画され、仮に船体の一部が破損しても、隣房には浸水しない』。これが40m級軍船のイメージです。

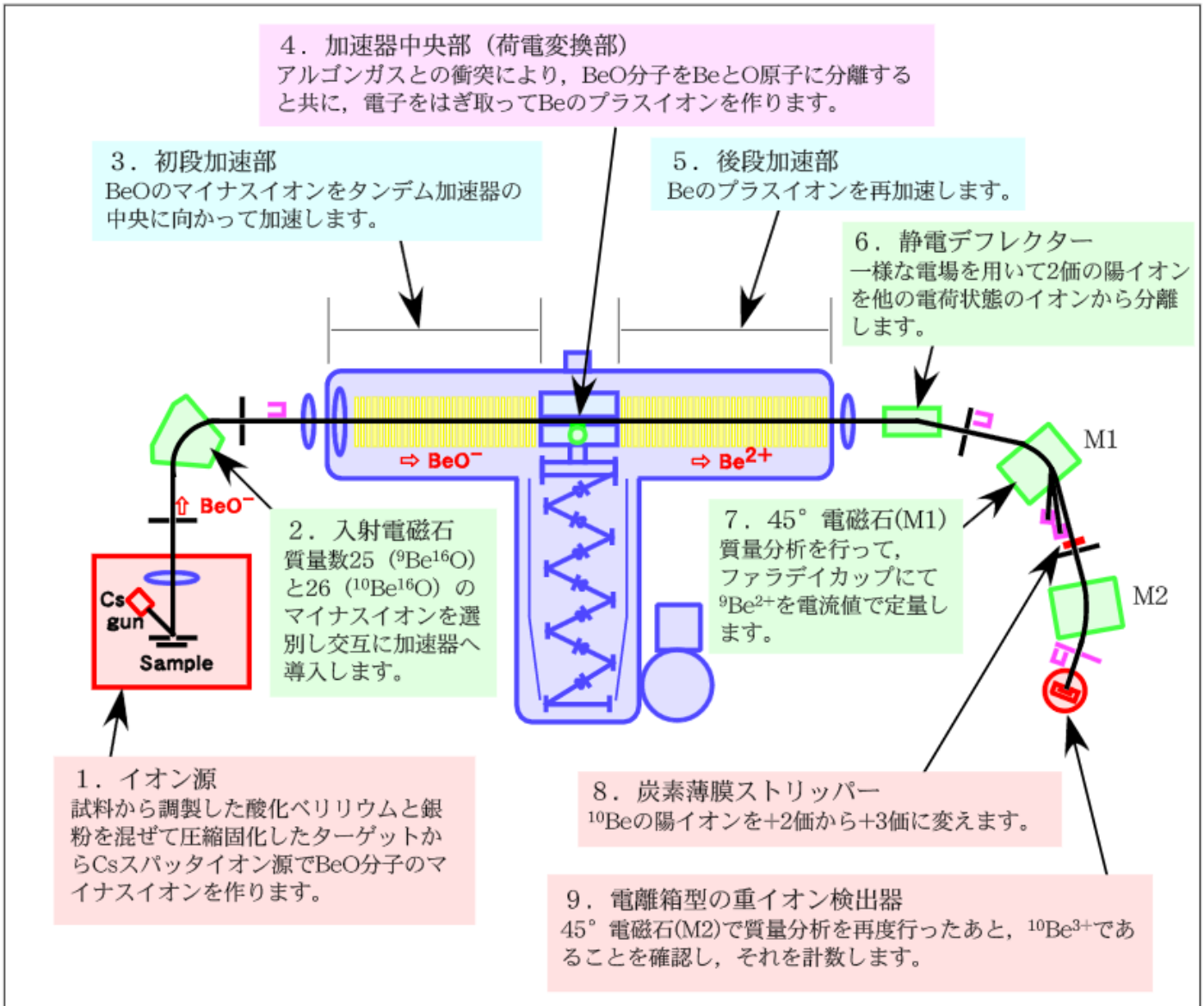
Suzuki, K., Karakida, Y. and Kamada, Y. (2000): Proceedings of the Japan Academy, 76, 139-144.
長澤和俊(1996): 地球人ライブラリー「東方見聞録」, 小学館. p.284.

新年代測定法の開発

タンデトロン加速器質量分析計による ^{10}Be 測定計画

タンデトロン加速器質量分析計を用いた ^{10}Be 測定は、Gif-sur-Yvette（フランス）で定常的に行われており、また、アリゾナ大学（アメリカ）でも可能になっています。当センターでは、 ^{10}Be の測定を行うためにタンデトロン第一号機の改造を進めています。

名古屋大学タンデトロン1号機の ^{10}Be 測定のための改造



^{10}Be を用いた研究

^{10}Be は半減期が150万年と ^{14}C に比べて260倍も長く、宇宙線により生成された ^{10}Be はエアロゾルとして大気中に存在する他、海水・河川水中、海洋・湖底堆積物中などに広く分布します。また、 ^{10}Be は、大気を通して来た二次宇宙線により地表に露出した岩石表面でも生成されます。

タンデトロン1号機を用いた ^{10}Be 測定による、

- ・ 岩石の露出年代による氷河の後退期の推定や岩石表面の風化速度の推定
- ・ 火山帯のマグマに含まれる ^{10}Be 濃度の測定によるマグマの起源の解明
- ・ 氷床堆積物や海洋・湖沼底堆積物中 ^{10}Be 濃度と ^{10}Be 生成の経年変動
— 超新星爆発による ^{10}Be 濃度の急増の可能性
- ・ 氷床堆積物や海洋・湖沼底堆積物中の ^{10}Be 堆積年代測定
- ・ 隕石の照射年代や落下年代の推定

などの応用研究を計画しています。

所在地・交通案内



交通案内

JR名古屋駅より

- 地下鉄東山線・藤が丘行きに乗車、「本山」駅にて地下鉄名城線・名古屋大学行きに乗り換え、「名古屋大学」駅下車。
- 市バス・名古屋大学行きに乗車、「名古屋大学」下車。

地下鉄八事駅より

- 市バス・名古屋大学行きに乗車、「名古屋大学」下車。

JR金山駅より

- 地下鉄名城線・名古屋大学行きに乗車、「名古屋大学」駅下車。
- 市バス・名古屋大学行きに乗車、「名古屋大学」下車。

名古屋大学

宇宙地球環境研究所 年代測定研究部
(旧年代測定総合研究センター)

〒464-8601 名古屋市千種区不老町

Tel : 052 (789) 2579

Fax : 052 (789) 3092

URL: <http://www.nendai.nagoya-u.ac.jp/>