

平成 22 年 5 月 1 日現在

研究種目： 基盤研究(B)
 研究期間： 2007 ～ 2009
 課題番号： 19300300
 研究課題名(和文) ウィグルマッチング法による木製文化財の高精度年代推定のための必要条件の検討
 研究課題名(英文) A study on estimation of calendar age for wooden cultural properties with high precision by wiggle matching
 研究代表者
 中村 俊夫 (NAKAMURA TOSHIO)
 名古屋大学・年代測定総合研究センター・教授
 研究者番号： 10135387

研究成果の概要(和文)：ウィグルマッチングによる木材の伐採年代等の推定では、木材の年輪をできるだけ多く 14C 年代測定する方が良い。しかし、誤差の大小は、マッチングを行う暦年代区間に大きく依存する。マッチング相手となる IntCal04 較正データが平坦な区間では正確なマッチングは困難である。逆 N 型の凸凹を示す区間では、マッチングの可能性が 2 区間に分割される。較正データが単調かつ急激な変化を示す区間では、たった 2 つの 14C 年代でもマッチングの誤差は小さい。

研究成果の概要(英文)：To estimate the calendar age of the outermost ring of the historical wooden material by wiggle matching, 14C age should be measured for most of its annual rings. The matching error is, however, greatly dependent on the calendar-age range to be fitted. The error is large for the calendar-age period where 14C age does not change much and is rather constant. When 14C age shows an inverse-N-shaped change in increase of calendar age, the wiggle matching analysis may show two possible age ranges. The error of wiggle matching even for only two annual ring samples is rather small for the period where 14C age changes monotonously and rapidly.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
2008 年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2009 年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
年度			
年度			
総計	15,100,000	4,530,000	19,630,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：文化財科学・文化財科学

キーワード：年代測定, 放射性炭素, ウィグルマッチング, 加速器質量分析, 年輪年代, 木製文化財

1. 研究開始当初の背景

文化財を科学的に研究するうえで、年代測定は最も重要で基本的な研究テーマの一つ

である。文化財の年代測定には、年輪年代法や放射性炭素 14C 法を始めとして幾つかの方法があり、採取可能な試料の性質、形態、

必要とする年代の精度などに応じて使い分けられている。本研究に用いる加速器質量分析法による 14C 年代測定は、最近の技術的発展がめざましく、炭素を含有する生試料の必要量が数十ミリグラムと少なく、数千年前までの新しい試料では、14C 年代が $\pm 20 \sim \pm 30$ 年程度の誤差で求まる。また、14C 年代から暦年代（年輪年代）へ較正するための基礎データ（14C 年代-暦年代較正曲線、IntCal04 データセット）が一応整えられている。すなわち、試料の 14C 年代から、歴史資料などと比較しうる暦年代が推定できる。しかしながら、一つの 14C 年代値から、最終的に知りたい試料の暦年代を数年の誤差で決定することは、一般的にはきわめて困難である。その最大の理由は、過去の大気中二酸化炭素の 14C 濃度が数パーセントの変動（十数年、数百年、数千年の周期を持つ変動がある）を経てきたからである。この変動がウイグルと称されている。この問題に取り組む方法の一つとして、試料木材につき 10 個程度以上の年輪の 14C 年代を測定し、これらを標準 14C 年代変動パターン (IntCal04 較正データ) と比較することにより、試料木材の生育年代を数年の誤差で決定する手法がある。このウイグルマッチング法を利用すれば、木材の伐採年について、効率よく正確度の高い暦年代が推定できる。

2. 研究の目的

これまで、木材の最外年輪（伐採年）や特定の年輪についての年代決定は、年輪年代法が用いられてきたが、樹種、地域などによる適用上の制限があった。これに対し、数年前から 14C 年代測定による 14C 年代ウイグルマッチングが木材資料に適用され、高精度の年代決定に成果をあげ始めている。本研究では、14C ウイグルマッチングの有効性を検証するために、ウイグルマッチング法による木製文化財の高精度年代決定のための必要条件として、(1)測定する年輪の暦年代の幅、(2)測定する年輪の暦年代上の位置、(3)測定年輪数、とウイグルマッチングの年輪年代推定の正確度（年輪年代との一致度）との関係を明らかにすることを目的とする。14C ウイグルマッチングの有効性を示し、さらに、対象資料に対する要件や測定すべき試料数などのコストに係わる要件を明白にすることで、古文化財や考古学の研究者がウイグルマッチング法を利用する際の判断材料を提供すること、さらにウイグルマッチング法の利用を促進することをめざす。

3. 研究の方法

(1) 年輪年代が既知の樹木試料の解析

木材資料について、年輪の分割、分取および整理、14C 年代測定のための試料の調製操

作、加速器質量分析計による 14C 年代測定、14C 年代-年輪年代の較正曲線と年代測定データとの相関の解析（14C ウイグルマッチング）などを実施する。さらに、14C ウイグルマッチングのプロセスで、(1)年代測定データ数を減らす、(2)最外、最内側の測定データを順次除外する、などの操作を行ってマッチングの精度依存性を調べる。また、14C 年代-年輪年代比較データのウイグルの形が異なる年輪年代範囲をカバーする樹木試料について同様の作業を実施して、マッチング精度の(3)暦年代の位置依存性を調べる。このようなマッチング解析と併せて、日本産の木材資料に国際較正データ IntCal04 を用いることの妥当性を日本産木材を用いて検定する。

(2) 年輪年代が未知の樹木試料の解析
考古学・文化財科学関連の木材資料を選別し、年輪の分割、分取および整理、14C 年代測定のための試料の調製操作、加速器質量分析計による 14C 年代測定、14C ウイグルマッチングを実施する。

(3) PEG 除去を含めた試料調製と 14C 年代測定

遺跡から発掘された重要な木材資料のウイグルマッチング解析を実施する際には、PEG による保存処理を施した木材資料の年代測定が不可欠となっている。そこで、木材資料から、注入された PEG を除去するための試料処理の検討が不可欠となっており、この PEG 除去の問題に取り組む。

4. 研究成果

(1) 年輪年代が既知の樹木試料の解析

14C 年代と暦年代との関係を示す世界標準データセットである IntCal04 に対して、日本産樹木についての両者の関係を比較するために、年輪年代が既知の屋久杉の年輪試料を 1 年輪に分割して 14C 年代測定を行った。その結果、AD1340~AD1425 の年代範囲で、IntCal04 データに比べて屋久杉年輪の 14C 年代が古く得られる傾向が見られた（北沢ほか 2008；論文⑧）。この傾向は、中村(2007；論文⑨)が報告した AD881~AD1092 の区間の傾向と同様である。ある年代範囲において、日本の樹木年輪の 14C 年代が IntCal04 データに比べて古く得られる点については、その原因を詳細に探る必要が指摘される。さらに広い暦年代範囲について、日本産樹木についての 14C 年代と暦年代との関係を確立して、それを用いてウイグルマッチングを行わねばならない(Masuda et al.2010; 永治ほか 2009；論文⑤, ⑦)。

2 年輪年代が既知の杉木材について、14C 年代ウイグルマッチング解析を実施し（中村 2007；論文⑨）、ウイグルマッチングで得られる推定値と既知の年輪年代を比較した。木材試料は、室生寺スギ材（AD1631-AD1739 の年輪を隔年で 14C 年代測定を実施した年輪数は 55 個）、および屋久杉材（AD1413-AD1554 の年輪を毎年で 14C 年代測定を実施した年輪数は 142 個）であり、それぞれ独立して、IntCal04 データを用いて 14C ウイグルマッチングを行った。その結果、室生寺スギについて求めた年輪の暦年代（2 標準偏差の誤差幅は±2 年と得られた）は既知の年輪年代と一致した。一方、屋久杉について求めた年輪の暦年代（2 標準偏差の誤差幅は±2 年と得られた）は既知の年輪年代に比べて 4 年分が年代の古い方へずれた。14C 年代測定を行った年輪数が約 3 倍多い屋久杉の方が、既知の年輪年代に比べて 4 年ずれたことについては、以下のように解釈する。室生寺スギ材年輪がカバーする暦年代範囲では、14C 年代が U-字型にへこんだ形状をしておりマッチングが決まりやすい。一方、屋久杉材年輪がカバーする暦年代範囲では、暦年代が若くなるにつれて 14C 年代も単調に若くなるため、14C 年代が系統誤差で若い方へずれると若い暦年代を示し、古い方へずれると古い暦年代を示すことになる。すなわち、この場合のウイグルマッチングでは、14C 年代測定の正確度がきわめて重要となる。

また、室生寺スギ材年輪がカバーする暦年代範囲では、14C 年代が U-字型にへこんでいることから、14C 年代データの数を 10 個程度に減らしても、マッチングの良否の結果には影響がない。これは、IntCal04 データの形による。すなわち、年輪年代の変化にともなって 14C 年代が大きく変化する区間では、測定された 14C 年代の数が少なくとも、マッチングの結果は安定している。一方、年輪年代が変化しても 14C 年代がほとんど変化しない区間（暦年代で 700-400 cal BC の期間など）では、たとえ測定された 14C 年代の数が多くても、ウイグルマッチングをもってしても暦年代を正確に決定することはできないことが明らかにされている（西本・中村 2010；論文①）。

（2）年輪年代が未知の樹木試料の解析

年輪年代が既知の木材資料を広い暦年代範囲で普遍的に入手することが難しいことから、暦年代期間の違いによる 14C ウイグルマッチング結果、すなわち、求めた暦年代

の誤差の大小については、未知年代樹木試料を用いて行った。

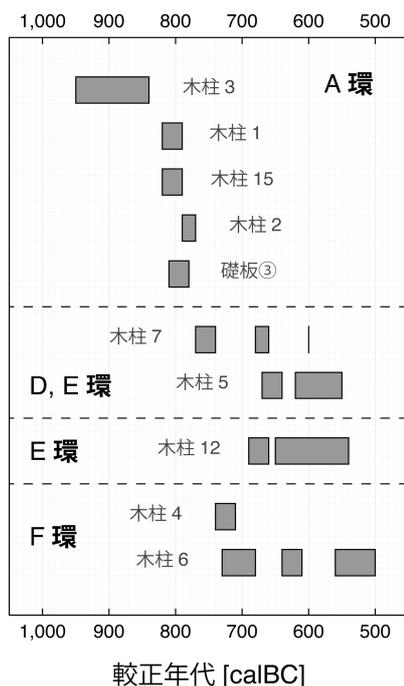


図 1 真脇木柱の最外年輪の年代範囲

①真脇遺跡環状木柱列の年代推定

石川県の真脇遺跡では、縄文時代晩期に構築された構造物とされる環状木柱列を構成する柱根群が発見されている。木柱列の配置に基づき 6 個の環から構成されること、更に柱根発掘における斬り合い関係などの発掘状況から新旧の識別がされている。新旧それぞれの環を構成する木柱の年代から、構造物が構築された時期とその存続期間が明らかになる。木柱はすべてクリ材であるため、現時点では年輪年代法を適用することはできない。そこでクリ材年輪の 14C 年代を測定することにより、ウイグルマッチングを行った。9 本の木柱（クリ材）及び木柱根の下に敷いてあった礎板 1 枚（スギ材）につき 14C 年代と IntCal04 を用いてウイグルマッチングを行った（図 1）（西本ほか 2010；Nishimoto et al.2010；論文①，③）。その結果、最も古い時期に対応する A 環に属する木柱列では、これらの年代期間が較正データのなかで 14C 年代が単調に変化する区間に対応するため、木柱の暦年代を一意的に決めることができる。一方、A 環よりも若い環に属する木柱では、較正データの中で 14C 年代がほとんど変化しない区間に対応しており、木柱の暦年代が一意的に決まらない（図 1）。すなわち、真脇遺跡出土の木柱の一部は、IntCal04 データのなかで暦年代の変化に対して 14C 年代値

の変化がほとんど無い区間に位置するため、たとえウイグルマッチング解析を行ってもマッチングの誤差は大きくなる。今回の解析の場合には、多くの木柱の年輪数が100個以下と少ないことも問題点の一つである。

②白頭山火山の10世紀の巨大噴火

白頭山火山の10世紀の巨大噴火(B-Tm)に関連する炭化木片のウイグルマッチング解析による噴火年代の高精度推定については、Nakamura et al(2007; 論文⑩)で calAD935+8/-5 と報告したが、その後、更に3本の炭化樹木試料(樹皮付き)を用いて追従実験を行ったところ、calAD935~962の間に推定年代が広がることが認められた(八塚ほか2010; 論文②)。ウイグルマッチングを用いても、この程度の誤差幅は致し方ないのかもしれないが、別の火山学的な理由として、複数回の噴火の可能性も考慮して年代解析を進める必要がある。

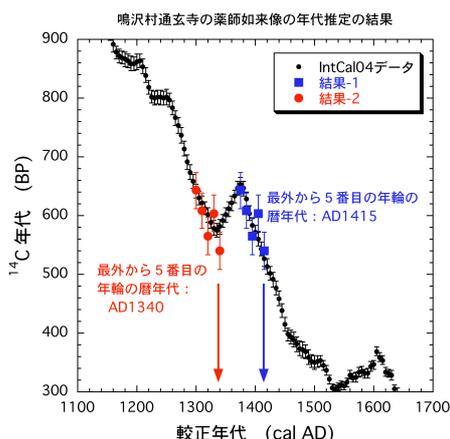


図2 仏像を構成する木材の年輪の ^{14}C 年代と「 ^{14}C 年代-暦年代較正データ」(IntCal04データ)との比較

③山梨県の一木削りの木製仏像

山梨県のお寺に伝わる一木削りの木製仏像は年輪数が約50個あり、10年輪おきに5点の年輪試料を採取し、 ^{14}C ウイグルマッチング解析を行った。マッチングの結果、木材の暦年代はちょうど逆N字型の箇所に対応し2箇所で高精度の一致があるが、そのどちらかを選別することはできない結果が得られた(図2)(Nakamura et al.2010; 論文④)。約80年離れた二つの推定年代のうちのどちらを選ぶかは、歴史上の制約条件を吟味する必要があり、 ^{14}C ウイグルマッチングの結果

のみから二者択一を行うことはできない。

一方、14C年代と暦年代が直線的に変化する箇所では、形成年が50年程度離れた2個の年輪を用いて最外年輪の年代を精度良く推定できることが示された。このように、ウイグルマッチング法による高精度年代推定の必要条件是、年輪数や年輪選別など年代測定の実施方法よりもむしろ、木材の暦年代が較正データのどこに当たるかで決まることが明らかとなった。もちろん、較正曲線のデコボコは通常数百年のサイクルであるため、年輪数が200個以上ある場合にはこの問題はない。但し、暦年代で750~400cal BCの区間は較正曲線が平坦な箇所であり、年輪数は300個以上必要である。

④青田遺跡の掘建柱の柱根

新潟県青田遺跡は、越後平野の阿賀野川以北に立地する縄文時代晩期の集落遺構からなり、集落跡から掘建柱を構成した木柱が多数発掘されている。木柱の年輪年代解析から集落の形成・存続の有様が解明されつつある。この遺跡の絶対年代(数値年代)を得るために、発掘された木柱のウイグルマッチング解析が中村ほか(2004)により行われている。しかし、真脇遺跡出土木柱の解析の場合と同様に較正データが平坦な暦年代区間であり、中村ほか(2004)が取り扱った100年、50年の生育年を持つ木材では、暦年代を精度良く求めることはできない。新たに170年輪を持つ木材についてウイグルマッチング(17年輪を測定)を行い、95%の確率で590-530 cal BCに絞ることができている。しかし、結果の誤差幅は60年間もある。較正曲線が平坦な年代範囲では、ウイグルマッチングでさえ正確な暦年代を求めることは難しい。

⑤トルコ・アナトリア地域のゴルディオン遺跡の炭化木柱

アナトリア地域のゴルディオン遺跡出土の木柱を用いた年輪年代および ^{14}C 年代測定の結果を較正データ(旧版のINTCAL98データ)と比較して、両者のずれが、すなわちアナトリア地域の ^{14}C データの特殊性が指摘されていた(Kromer et al.2001)。大森・中村(2010; 論文⑥, 発表①)は、トルコ・アナトリア地域のカマン・カレホック遺跡出土の炭化木材(105年輪を持つ)およびゴルディオン遺跡出土の炭化木材をKromer et al.から譲り受けて、再度ウイグルマッチング及び年輪年代解析を行った結果、IntCal04とよく一致する結果を得た。すなわち、トルコ・アナトリア地域生育の木材には ^{14}C データ

の地域性はみられないことを改めて確証することができた。

(3) PEG 除去を含めた試料調製と 14C 年代測定

石油から合成される PEG 剤による保存処理がすでに実施された木材資料の高精度年代推定に 14C ウィグルマッピングが使えるのか。PEG 処理が施された樹木試料の 14C 年代測定の可能性を調べるために、10 年前頃に PEG 処理が実施された、年代が既知の試料について効率のよい PEG 除去法の開発を進めた。また、新たに遺跡発掘木材(クリ材)に PEG を含浸させる実験を行った。それらの木材試料について PEG 除去処理を行い、14C 測定の準備を進めた。

同じ年代の木材資料(約 2500 年前)について、PEG の含浸・除去を行った木材部と PEG 処理を一切行っていない木材部について、ルーティンの試料調製処理を行って 14C 年代を比較したところ、前者の方が後者より約 200 年古い 14C 年代が得られており、PEG 剤が完全には除去できていないことがわかった(Nishimoto et al.2009; 発表⑫)。PEG の完全な除去は、PEG 含浸処理が施された木材資料(年代を是非とも決める必要がある場合が多々発生している)の 14C ウィグルマッピングに不可欠であり、今後さらに検討するべき課題である

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 15 件)

① 西本 寛・中村俊夫：真脇遺跡出土環状木柱列の高精度編年-AMS 14C 年代測定とウィグルマッピング解析-真脇遺跡 2010-史跡真脇遺跡整備に係わる第 10~13 次調査概報, p.87-98, (2010)査読無。

② 八塚槇也・奥野 充・中村俊夫・木村勝彦：14C ウィグルマッピングによる年代決定について-白頭山の炭化樹幹を例として-。第 11 回 AMS シンポジウム報告集, 名古屋大学年測センター編集, p.48-53, (2010) 査読無。

③ H. Nishimoto, T. Nakamura, H. Takada: Radiocarbon dating and wiggle matching of wooden poles forming circular structures in the 1st Millennium BC at the Mawaki site, Central Japan. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 268, 1026-1029, (2010)査読有

④ T. Nakamura, M. Minami, H. Oda, Y. Miyata, (ほか 4 名) : Accelerator-mass-spectrometric 14C dating at Nagoya University: performance and application to cultural properties and archeological remains. Proc. Int. Workshop on Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences, 229-237, (2010)査読無

⑤ K. Masuda, K. Nagaya, H. Miyahara, Y. Muraki, T. Nakamura: Cosmogenic radiocarbon and solar activity. J. Physical Society Japan, Suppl., 78, 1-6, (2010)査読有

⑥ 大森貴之・中村俊夫：トルコ共和国カマン・カレホユック遺跡前期鉄器時代の 14C 変動について。名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, XXI, 139-144, (2010) 査読無

⑦ 永治健太郎・増田公明・中村俊夫・宮原ひろ子・松崎浩之・村木 綏：年輪中 14C 濃度測定による紀元前 4 世紀太陽活動極小期における太陽活動周期の研究。名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, XX, 145-151, (2009)査読無。

⑧ 北澤恭平・永治健太郎・増田公明・中村俊夫・宮原ひろ子・村木 綏：プレ・シユペラー極小期における樹木年輪中 14C 濃度測定。名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, XIX, 103-109, (2008) 査読無

⑨ 中村俊夫：14C ウィグルマッピングによる考古学・文化財科学関連資料の暦年代の高精度推定。考古学ジャーナル, 556, 46-51, (2007)査読無

⑩ Nakamura, T.; Okuno, M.; Kimura, K.; Mitsutani, T.; Moriwaki, H.; Ishizuka, Y.; Kim, K.H.; Jing, B.L.; Oda, H.; Minami, M.; Takada, H. Application of 14C wiggle-matching to support dendrochronological analysis in Japan. Tree-Ring Research 63(1), 37-46, (2007) 査読有。

[学会発表] (計 15 件)

① T. Omori, T. Nakamura: Anatolian tree rings for the Early Iron Age from the Kaman-Kalehoeyuk site, Turkey: reconsideration of Anatolian regional 14C offsets. 20th International Radiocarbon Conference, May31-June 5, 2009, Big Island, Hawaii, USA.

② H. Nishimoto, H. Takada, S. Nakamura, K. Kimura, H. Oda, T. Nakamura: Radiocarbon dating of waterlogged woods treated with a conservation material PEG: test of PEG

removal by using dendro-dated archeological wood remains. 20th International Radiocarbon Conference, May31-June 5, 2009, Big Island, Hawaii, USA.

③ S. Yatsuduka, M. Okuno, T. Nakamura, K. Kimura, Y. Setoma, T. Miyamoto, K.H.Kim, H. Moriwaki, T. Nagase, X. Jin, B.L.Jin, T. Takahashi, H. Taniguchi: 14C wiggle-matching of the 10th century eruption of Baitoushan volcano (China/North Korea). 20th International Radiocarbon Conference, May31-June 5, 2009, Big Island, Hawaii, USA.

④ M. Okuno, T. Oikawa, Y. Hoshino, S. Yatsuzuka, N. Geshi, T. Nakamura: 14C wiggle-matching of the Haruna Futatsudake pumice (HR-FP), central Japan. 20th International Radiocarbon Conference, May31-June 5, 2009, Big Island, Hawaii, USA.

⑤ T. Nakamura, M. Minami, H. Oda, Y. Miyata, A. Ikeda, T. Omori, H. Nishimoto, T. Ohta: Present status of AMS 14C dating at Nagoya University and plans to establish calibration data applicable to Japanese samples. 3rd East Asian Symposium on Accelerator Mass Spectrometry, October 19-22, 2009, Xi'an, China (invited)

⑥ M. Minami, T. Omori, T. Ohta, A. Goto, T. Nakamura: Comparison of $\delta^{13}C$ and 14C activities between closed tube- and elemental analyzer-combusted CO₂ samples. 11th Int. Conf. on Accelerator Mass Spectrometry, Sep. 16-19th, 2008, Rome, Italy.

⑦ T. Nakamura: Environmental changes revealed from 14C concentrations recorded in tree rings. The 7th Int. Symp. on Environmental Changes in East Eurasia and Adjacent Areas. August 23-29, 2008, Ulaanbaatar-Hatgal, Mongolia

⑧ T. Nakamura, K. Kimura, H. Nishimoto, H. Takada: 14C dating and tree-ring analysis of wood circle monuments excavated at the Mawaki archeological site, Ishikawa prefecture, Japan. 17th INQUA Congress, July 28-August 03, 2007, Carines, Australia

⑨ T. Nakamura, M. Minami, H. Oda, T. Ohta, A. Ikeda, T. Omori, H. Nishimoto: High-precision AMS 14C dating of cultural properties and archeological remains at Nagoya University. The 2nd East Asia

Accelerator Mass Spectroscopy Conference, October 22-23, 2008, Seoul, Korea (Invited).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

該当無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 俊夫 (NAKAMURA TOSHIO)

名古屋大学・年代測定総合研究センター・教授

研究者番号: 10135387

(2) 研究分担者

山本 直人 (YAMAMOTO NAOTO)

名古屋大学・文学研究科・教授

研究者番号: 60240800

奥野 充 (OKUNO MITSURU)

福岡大学・理学部・准教授

研究者番号: 50309887

増田 公明 (MASUDA KIMUAKI)

名古屋大学・太陽地球環境研究所

研究者番号: 40173744

木村 勝彦 (KIMURA KATSUHIKO)

福島大学・共生システム理工学類・准教授

研究者番号: 70292448

南 雅代 (MINAMI MASAYO)

名古屋大学・年代測定総合研究センター・

准教授

研究者番号: 90324392

小田 寛貴 (ODA HIROTAKA)

名古屋大学・年代測定総合研究センター・

助教

研究者番号: 30293690

(3) 連携研究者

該当無し