

南極から美ら海まで— ^{14}C 年代測定をはじめて45年—
**Geochronology of Glacial Geomorphology in Antarctica and Coral Reef Geomorphology of
Nansei Islands, SW Japan — Results of ^{14}C datings for 45 years since 1966 —**

小元 久仁夫
Kunio Omoto

日本大学文理学部 (College of Humanities & Sciences, Nihon University)

Correspondence to: Omoto; E-mail: k.omoto@ac.auone-net.jp

Abstract

It has passed 45 years since I have started radiocarbon dating at Tohoku University, Sendai. During above periods I have learned three kinds of radiocarbon dating methods *i.e.* a gas proportional counting, a liquid scintillation counting and an accelerator mass spectrometry. I have dated many different kinds of sample materials not only submitted samples by geologists, geomorphologists, archaeologists and other people but also samples collected by myself from Japanese Islands and many foreign countries.

Taking this opportunity I would like to introduce hardware developments carried out for a gas counting system and a liquid scintillation counting system together with some results of my Antarctic surveys and recent works carried out mainly at Nansei Island, southwest of Japan.

Keywords: ^{14}C 年代測定法; 南極; reservoir correction; 津波石; 石灰段丘

Methods of ^{14}C daing; Antarctica; reservoir correction; Tsunami boulder; Travertine terraces

I はじめに

Willard Frank Libby がシカゴ大学で放射性炭素 (^{14}C) が自然界に存在することを予測し、これを確認し半減期を 5,568 年として ^{14}C 年代測定を行って以来、半世紀以上の年月が経過した。この間 ^{14}C 年代測定法もガス プロポーショナル・カウンターを使用する方法から高感度液体シンチレーション・カウンター (LSC) を使用する方法、そして 1977 年以降は加速器質量分析装置 (AMS) を使用し 1mg 以下の炭素でも小さな統計誤差で年代決定ができるようになった。本講演では過去 45 年間にわたり ^{14}C 年代測定を行ってきた演者の多岐にわたる研究成果の中から、話題をいくつか取り上げ紹介する。

II ^{14}C 年代測定法の習得と装置の開発および改良

1. ^{14}C 年代測定法との出会い

演者と ^{14}C 年代測定との出会いは、1966 年 4 月に東北大学に就職したことによる (小元 2010b および 2011)。東北大学に納入された ^{14}C 装置を立ち上げるため、当時すでに ^{14}C 年代測定を行っていた防衛大学校の久保添忠嘉教授、理化学研究所の濱田達二先生、そして学習院大学の木越邦彦教授の順に各研究室を訪問し、ガス プロポーショナル・カウンターを使用する ^{14}C 年代測定法について教えていただいた。その数年後、金沢大学の阪上正信教授および京都産業大学の山田治教授から液体シンチレーション法の試料調整法 (ベンゼンおよびメ

チルアルコールの製造法) について教えていただいた。

演者の専門分野である自然地理学の中でも、自然環境の変遷、地形の形成年代、そして地形発達史を考察する上で、 ^{14}C 年代は強力な道具になることが期待されていた。知りたい年代と現象との関係を明らかにするためには、木越(1965)が指摘しているように「研究者自身が試料を採取し自ら年代を決定すること」が理想的である。しかし演者にとって当初、 ^{14}C 年代測定法を習得できるかどうかについては全く自身がなかった。幸運なことに上記先学の諸先生方と海外でお世話頂いた多くの年代測定機関(第1表)と科学者たちのご指導により、 ^{14}C 年代測定法は私の研究・教育にとって必須の道具となった。

第1表 1966年以來訪問した ^{14}C 年代測定機関

Table 1 ^{14}C laboratories visited since 1966

Country	Nr	Name of Institute or Laboratory
Australia	2	Australian National University, Radiocarbon Laboratory, Canberra. University of Sydney
Austria	2	VERA-Laboratorium Institut für Isotopenforschung und Kernphysik Universität Wien. Bundesministerium für Finanzen (BMF), Steuer und Zollkoordination Technische Untersuchungsanstalt
Canada	2	Geological Survey of Canada, IsoTrace Laboratory University of Toronto
England	4	British Museum, Oxford Radiocarbon Accelerator Unit, Research Laboratory for Archaeology and the History of Art, Oxford University. Cambridge Radiocarbon Dating Research Laboratory, Environmental Sciences Research Centre. Department of Statistics University Gardens, University of Glasgow.
Finland	1	Wallac Co.Ltd.(PerkinElmer LAS GmbH), Turk
France	1	Gif A GDR Tandetron Domaine du CNRS
Germany	5	Leibniz Labor, Christian Albrechts University(Kiel), University of Munich, Institut für Bodenkunde Universität Hamburg, Heidelberger Akademie der Wissenschaften c/o Institut für Umweltphysik, Universität Heidelberg. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung. Institut für British Petaluma Ltd. Bochum.
Iceland	1	Science Institute, University of Iceland.
Israel	1	Science Institute, University of Iceland.
日本	9	学習院大学、理化学研究所、防衛大学校、東京大学、金沢大学、京都産業大学、 八戸工業大学、名古屋大学、加速器質量分析研究所
Korea	2	Archaeological Studies Division, National Cultural Property Research Institute. Department of Oceanography, Pohang University
Monaco	1	International Atomic Energy Agency, Marine Environmental Laboratory
New Zealand	2	D.S.I.R., Rafter Radiocarbon Laboratory, Institute of Geological and Nuclear Sciences Ltd. Radiocarbon Dating Laboratory, University of Waikato
Norway	1	National Laboratory for ^{14}C Dating, Norwegian University of Science and Technology (University of Torondheim)
Sweden	1	Department of Physics and Astronomy, Uppsala University (The Ångström Laboratory University of Uppsala)
Swiss	4	Climate and Environmental Physics, Physics Institute, University of Bern. ETH/AMS Facility, Institut Teilchenphysik, Eidgenössische Technische Hochschule Hönggerberg. Radiocarbon Laboratory of University of Zurich. Oberzolldirektion Sektion Chmisch-technische Kontrolle, Bern
The Netherlands	4	Centre for Isotope Research, University of Groningen, R. J. van de Graaff Laboratorium, Universiteit Utrecht, High Voltage Co. Ltd., University of Amsterdam
U.S.A.	4	Quaternary Isotope Laboratory, University of Washington. NSF-Arizona AMS Facility, University of Arizona, Laboratory of Isotope Geochemistry, Geosciences Department, The University of Arizona. Center for Isotope Studies, University of Georgia

2. 世界最古の年代まで測定可能な ^{14}C 年代測定技術の確立

リビーらが ^{14}C 年代測定を始めた1950年ころ、測定可能な最古の年代は2~3万年前までとされた。しかし科学者たちはできるだけ古い年代まで、付加誤差の小さい高精度の年代を決定したいと考え、努力してきた。古い年代まで測定するには①バックグラウンドを下げる

こと（ガス・カウンターやヴァイアルはもとより、測定室はできるだけ放射能を含まない物質で製作し、できれば地下にする）。②バックグラウンドが低く、感度の良い検出器を使用し、計測機器が安定に動作すること。③できるだけ多くの炭素を検出器に入れること（ガス・プロポーショナルカウンターを使用するより液体シンチレーション・カウンターを使用する。アルコールよりベンゼンを使用する）。④試料の化学処理時にモダン・カーボンやデッド・カーボンを極力除去するように細心の注意を払う一などが肝要である。

演者は4万年よりも古い年代まで、小さな不可誤差で測定するためにはどうしたら良いかについて検討した。その結果、試料からベンゼンを合成し、テフロンヴァイアルを使用して低バックグラウンドの液体シンチレーション・カウンター（Liquid Scintillation Counter 略してLSC）で測定すれば、ガス プロポーショナル・カウンターを使用するよりも古い年代まで計測できる確信を得た。問題は実際にどれくらい低いバックグラウンドを得られるかであった。そこで国内のLSCについて性能を調査した結果、ガス・プロポーショナル・カウンターに匹敵する低バックグラウンドを示すLSCがあった（第2表）。

第2表 液体シンチレーション・カウンターの仕様（注：1980年頃の資料による）

Table 2 Items of some liquid scintillation counters.

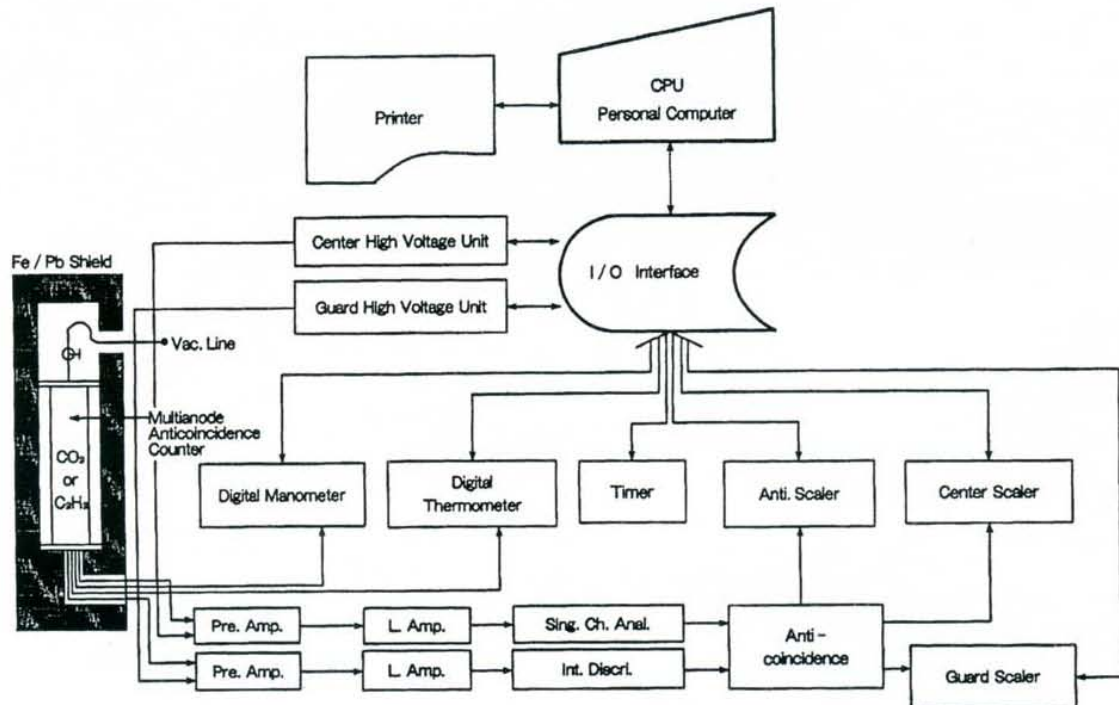
Model and No.	Aloka LSC-LB 1	Beckman 7500	Packard 300-C
Background	2.600	10.050	7.000
NBS (95%)/g	7.877	7.176	8.655
Sample benzene(g)			
1	34,780 y BP	28,370 y BP	31,430 y BP
5	48,150	41,750	44,810
10	53,910	47,510	50,580
15	57,280	50,890	53,950

カタログ上でもっともバックグラウンドが低かったのは Aloka の LSC LB-1 であった。これに Multi Channel Analyzer (Canberra 社製) を接続して測定データを収集し処理することにより、6万年まで測定可能な年代測定装置を構築できると考えた。6万年という数字は、現在の測定技術をもってしてもほぼ測定限界に近い。マルチチャンネル・アナライザーを液体シンチレーション・カウンターと結合させるというアイディアは当時誰も考えつかなかった。この計画について文部省（当時）の科学研究費を申請したところ幸運にも採択され、当時世界でもっとも古い年代まで測定可能な装置を構築することができた（小元 1982a; Omoto 1982; 1983; 1985）。

3. β 線測定法の自動化 (MS DOS)

^{14}C 年代測定実験は確立された科学的手法であるから教授が行っても学生が行っても同じ結果が得られる筈である。自然地理学を研究対象とする者にとって必要なのは ^{14}C 年代であって、 ^{14}C 年代を決定する実験に多くの時間を割かれることは望ましいことではない。そこで演者は ^{14}C 年代測定実験の自動化について考えた。ガス プロポーショナル・カウンターを使用する ^{14}C 年代測定実験の概要は次の通りである。まず全回路を高真空 (10^{-4} torr 程度) にし、試料ガスを液体窒素で移動しガス プロポーショナル・カウンターに封入しガス圧を調整する。次にセンター・カウンターとガード・カウンターの印加電圧を決定する。あらかじめ

カウンターに封入するガス圧を決定し、常に正確にそのガス圧に調整し、しかも長時間にわたる β 線測定時間中にカウンターの温度変化が起こらない場合には、常時一定の電圧で測定することができる。しかしカウンターに封入したガス圧を 1mmHg たりともずれないように調整し、またカウンターの温度も 0.1℃ たりとも変動させないようにすることは通常不可能である。したがってガス圧やカウンターの温度が変化した場合に対応して印加電圧を決定し、修正できることが理想である。以上述べたような実験操作を自動的に行ってくれる方法と、測定データを収集し解析する方法について、人間の手を借りずに実験を行う方法を開発することを考えた。このアイデアは文部省（当時）の科学研究費の試験研究によって実現することができた。この研究では上記以外に、測定試料の入った高圧金属容器を装置にセットすれば、順次自動的にあらかじめプログラミングされたガス圧で試料をカウンターに充填し、あらかじめプログラミングされた測定時間で β 線を測定し、年代測定結果を記録しプリントするというガス・カウンターによる β 線測定実験の全自動化が行われた（小元 1982b）。



第1図 全自動 β 線測定装置の概念図 (Omoto 1982)

Figure 1 Schematic diagram for full-automatic β -counting system (Omoto 1982 ; 1995)

1995年にMicrosoft社がMultitask可能なOSであるWindowsを開発した。このため従来使用していたBASICソフトを、Windowsで動作するように新たな年代測定ソフトを開発(Omoto 1995 ; 1998 ; 小元・大木 1999)した。その概要は次の通りである。カウンターの印加電圧は試料ガスを封入後、カウンターの圧力と温度データの初期値にもとづきCPUが計算し、インターフェースを通じて高電圧装置を制御し測定開始電圧を調整する。このようにしてセンター・カウンターとガード・カウンター双方のプラトーを計測し、それぞれのカウンターの最適印加電圧を決定する。印加電圧が決定されれば、任意の測定時間間隔で繰り返し、①アンチ・コインシデンス計数値、②センター・カウンターの計数値、③ガード・カウンターの計数値、④センターおよび⑤ガード・カウンターへの印加電圧、⑥カウンターの封入ガス圧、

⑦カウンターの表面温度、⑧各計数率の累積平均値と、⑨経過時間ごとの年代計算結果をディスプレイに表示し、上記のデータを HD に書き込んでいく。このようにしてあらかじめ入力した計測時間に達すると、センターおよびガード・カウンターの最適印加電圧を再確認し、最適印加電圧に変動があれば調整する。このようにしてあらかじめ入力した総測定時間に達するとβ線測定を終了し、統計計算と年代計算を行う。そしてセンター・カウンターとガード・カウンターのプラトーを最終確認して、すべてのデータを印字してプログラムは終了する (Omoto 1998)。このソフトウェアは開発から 15 年以上経過した今日でも大変よく働いている。

Ⅲ ^{14}C 年代を使用した研究成果

1. 南極試料の ^{14}C 年代測定

演者は 1968 年 6 月に、第 10 次日本南極地域観測隊員として選抜され、地理・地形部門および内陸調査を担当し越冬することになった。このとき南極から採取した生物試料 (化石) について ^{14}C 年代を測定した場合、正しい年代が得られるかどうかについて疑問を持った。その理由は、大陸氷から分離された古い年代の氷山が海洋に融解しているため海水中の ^{14}C 濃度は熱帯や温帯地方の ^{14}C 濃度と異なり、南極海の生物の年代そのものも古い年代となるであろうと考えた。すなわち今日では海洋リザーバー効果とよばれる現象である。したがって

第 3 表 南極地域における Modern carbon の値 (Omoto 1985)

TABLE 3: Some modern carbon dates at Syowa Station and its vicinities (compiled after Omoto 1972 and 1976 and Yoshida and Moriwaki 1979 with asterisks).

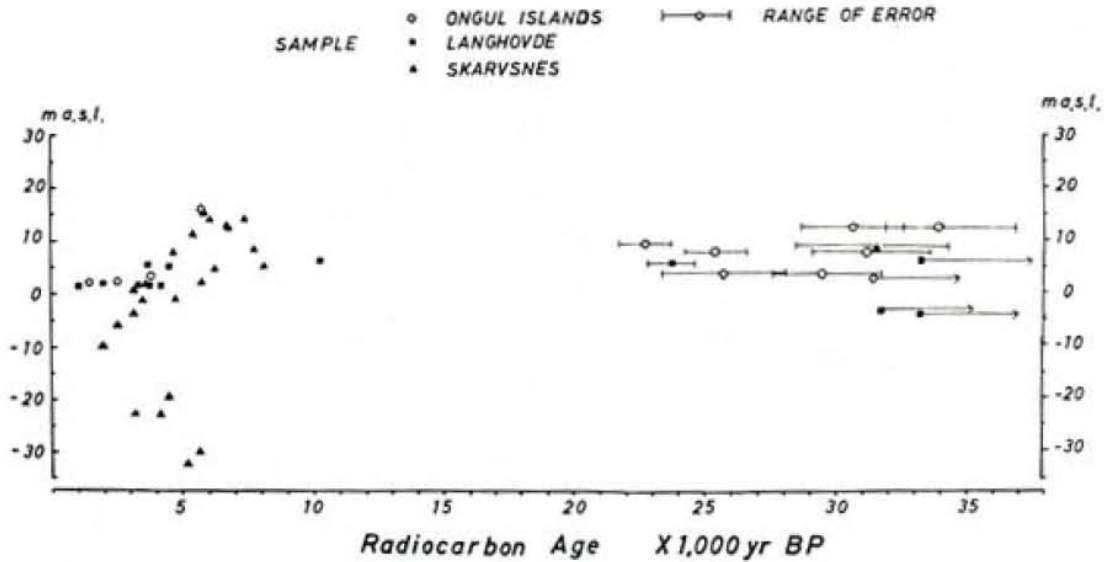
Sample material	Elevation	^{14}C Age ($\Delta^{14}\text{C}\%$)	Code No.
Sea water	-10 m	$2,860 \pm 125$ (-292 ± 11)	N-858
Do.	-10 m	880 ± 115 (-101 ± 12)	N-860
Lake water	-0.5 m	Modern ($+278 \pm 19$)	N-859
Do.	-0.5 m	Modern ($+253 \pm 19$)	N-861
Atmospheric CO_2	10 m a.s.l.	Modern ($+487 \pm 17$)	N-922
Do.	Do.	Modern ($+315 \pm 45$)	N-923
Crab-eater seal (skin)	0 m	$1,455 \pm 110$	TH-052
<i>Neoliuccinum eatoni</i> *	-17 ~ -35 m	$1,190 \pm 90$ (-138 ± 9)	GaK-6789a
Do. (shell)*	Do.	$1,300 \pm 90$	GaK-6789b
<i>Ophionotus victoriae</i> *	-92 m	$1,070 \pm 90$ (-125 ± 10)	GaK-6790a
Do. (shell)*	Do.	$1,210 \pm 100$	GaK-6790b
<i>Sterechinus neumayeri</i> *	-17 m	$1,160 \pm 110$ (-134 ± 12)	GaK-6791a
Do. (shell)*	Do.	860 ± 110	GaK-6791b
<i>Trematomus berunacchii</i> *	-15 m	$1,160 \pm 110$ (-148 ± 9)	GaK-6792
<i>Zoarcidae</i> *	-500 m	$1,010 \pm 110$ (-118 ± 13)	GaK-6793

Note: Sampling sites for N-858 and N-860 are described in the text. Elevation of the lake for N-859 and N-861 is ca. 12 m a.s.l.

正しい年代を得るためには、まず南極地域のモダン・カーボンの値を決定しなければならない。このため現生のペンギンやアザラシ、魚介類、海水、オアシスの湖水、そして大気中の二酸化炭素試料を採取した。これらの試料の測定では理化学研究所 (当時) の濱田達二先生のお世話になった。この測定結果 (第 3 表) によれば、南極海から採取した海水は、氷床に近い所では約 3,000 年前を示し、遠ざかるにつれて次第に新しい年代となった。海洋生物では現生のアザラシが約 1,500 年前を示したが、魚介類はこれよりやや新しい年代を示した。しかしながら大気中の二酸化炭素および湖沼水は、いずれも核実験の影響を示した。このような結果にもとづき南極試料について ^{14}C 年代測定を行った場合、生物種ごとに測定したモダン・カーボンの値により年代を補正する必要があることを報告 (Omoto 1972 ; 1985) し

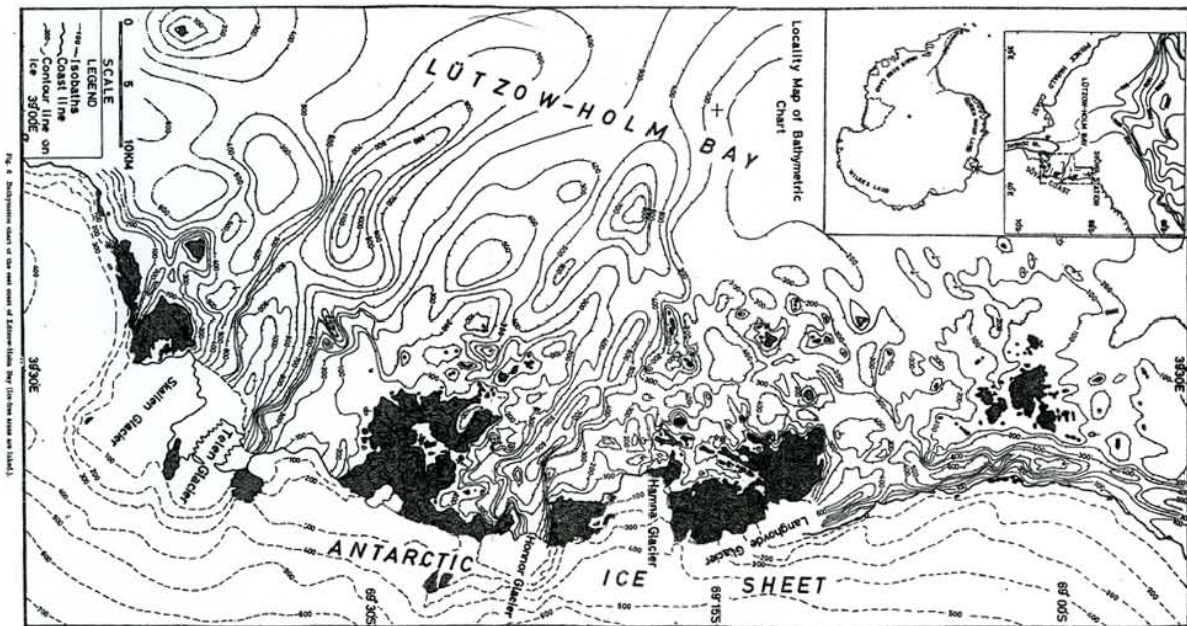
た。

第10次および第14次の2回にわたる越冬観測を通じて、昭和基地の位置するリュツオ・ホルム湾岸に発達するいくつかの島々や露岩地域で隆起汀線の調査を行った。その際、多く



第2図 リュツオ・ホルム湾から採取した試料の¹⁴C年代 (Omoto 1977)

Figure 2 ¹⁴C ages of samples collected from Lutzow-Holm Bay, Antarctica (Omoto 1977)



第3図 リュツオ・ホルム湾の海底地形 (Omoto 1976b)

Figure 3 Submarine topography of Lutzow-Holm Bay, Antarctica (Omoto 1976b).

の貝化石試料を採取し、帰国後に¹⁴C年代測定を行い、その結果を発表した (Omoto, 1977)。不思議なことに測定値は1万年以下と、2万年をこえる年代に二分された (第2図)。このような傾向はその後、AMS法によって測定された多くの年代測定結果も同様であった。

昭和基地の海成段丘堆積物には貝化石と一緒に多数の有孔虫が含まれていた。この有孔虫について研究した Uchio (1966) は、マクマード基地などほかの南極地域の研究成果から判断し、これらの有孔虫は少なくとも水深 120m よりも深い、おそらくは水深 180m 位の所に生息していたに違いないと報告した。しかし地理学者たちは、貝化石や有孔虫を産する海成段丘は少なくとも 5,000~6,000 年前に形成されたと解釈していた。このため過去 5,000~6,000 年間に 100m 以上もの隆起が起こったとは到底考えられなかった。両者の見解の相違は、演者の 2 回にわたる越冬中に行った調査によって解決することができた。

第 14 次日本南極地域観測隊員 (1972~1974 年) として 2 回目の越冬時に、演者はリュツオ・ホルム湾の海底地形を調査し、水深 1,200m をこえる氷食谷 (第 3 図) が存在することを明らかにした (Omoto 1976b)。この結果から、かつて氷床は現在よりもはるか沖合まで張り出しており、そのときに深い氷食谷を形成したことを明らかにした (Omoto 1976a)。一方演者は氷床の基盤地形 (Omoto 1976a) についてアイスレーダー (電波氷厚計) を使用して明らかにしていた (第 4 図)。演者はリュツオ・ホルム湾では氷床が拡大した時期があり、その後徐々に現在の海岸線まで氷床が後退する過程で、Isostatic な rebound (地殻平衡的な隆起) が起こり、オングル島をはじめとする島々は間欠的に隆起し、多数の隆起汀線地形を形成し

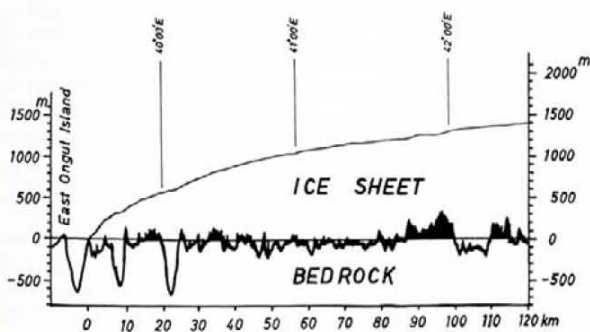
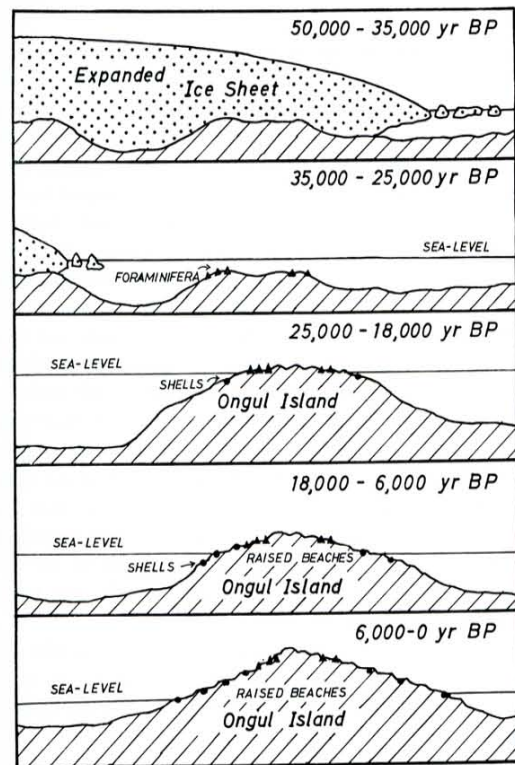


Fig. 12. Longitudinal profiles of surface and subglacial landform of ice sheet, along the 10th inland traverse route 1969-1970 (Omoto, 1976a).



第 5 図 オングル島の地形発達図 (Omoto 1977) Figure 5 Schematic diagram for development of Ongul Island (Omoto 1977) .

第 4 図 昭和基地東方の氷床の断面図 (Omoto 1976a) Figure 4 Longitudinal profile of ice sheet, east of Syowa Station (Omoto 1976a).

たと結論づけた (第 5 図)。このように考えると、先述の Uchio (1966) の見解についても矛盾することなく説明できた (Omoto 1977)。

2. 東北日本の海洋リザーバー (ΔR) と縄文時代の編年

1987年4月、演者は日本大学文理学部に転出した。そして年末にはふたたびガス プロポーションナル・カウンターを使用した ^{14}C 年代測定を始めることができた。1990年代から演者は「美ら海」、おもに南西諸島を調査地域としてサンゴ礁地形の研究を開始した。すなわち完新世のサンゴ礁地域の海岸地形の形成年代や海水準変動、あるいは地殻変動の研究である。これらの研究において、年代測定試料の採取が容易なことが研究の背景にあった。今回は標記に関して、昨年8月発行された *Radiocarbon* Vol 50, No.2 に掲載された Omoto et al. (2010) の概要について、その要旨を中心に紹介する。

わが国における縄文時代の考古編年は、元来土器の形状や刻印れた文様、発掘時の土器包含層の厚さに対して与えられた伝統的な相対年代にもとづいていた。そこで演者たちは東北日本における縄文時代の古典的な考古編年を、放射性炭素年代を校正した暦年代によって新たに構築することを目指した。このため演者たちは東北日本の遺跡から採取された土器編年の確定している 80 件の加速器で測定した年代を使用して東北地方と北海道の編年表を新たに作成した。またこの編年を確認するため、北海道の 5 貝塚と 2 遺跡、また東北地方の 4 貝塚

第4表 東北日本における縄文時代の年代区分 (Omoto et al. 2010)

Tentative Chronology of Jomon Period in Japan (After Kobayashi, 2006)

Author(s)	Kieky et al.	Sahara	Yamamoto	Kobayashi and Nishimoto	Hokkaido ^{*1}	This Study
Division	1982	1987	2001	2003	2009	2009
Incipient	12800	12000	-	15000	14000	14000
Earliest	10500	10000	-	12500	9000	9000
Early	6900	6000	7150	7000	6000	7000
Middle	4500	5000	5350	5470	5000	5300
Late	3500	4000	4350	4420	4000	4000
Latest	2700	3000	2950	3200	3000	3100
Yayoi	2550	2300	2650	2350	-	2400 ^{*2}
Region	Kyushu	-	Hokuriku	East Japan	Hokkaido	Hokkaido and Tohoku

^{*1}Hokkaido Archaeological Operation Center ^{*2} Beginning of Post Jomon period in Hokkaido.

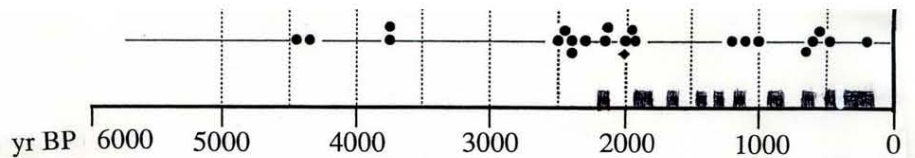
から合計 43 個の試料を収集し、各遺の校正年代を決定した。わが国の貝塚は海岸に多くあり、しかも海棲動物化石を多く産する。このため海洋リザーバー (R および ΔR) の補正が不可欠である。北海道および東北地方から収集した試料を測定し ΔR 値をそれぞれ 282~158 年および $\pm 0 \sim -40$ 年と決定した。北海道東部の ΔR 値はほかの地域に比較し大きい数値であったが、この結果は親潮の影響が強いことを示し、一方北海道北部からは異常に大きな ΔR 値が得られた。これらの数値はいずれも西南日本の ΔR 値 (Nakamura et al. 2007) と比較し、明らかに大きな数値である。調査地域における校正された縄文時代の区分 (第4表) は、従来の編年よりも 2,000~200 年ほど新しい。調査地域の貝塚の校正年代は 6,000~3,000 年前の範囲にあり、土器編年による時代区分と整合的であり、年代的には本州の縄文時代早期から晩期の考古編年に相当する。

3. 南西諸島宮古島から採取した津波石の年代

標記に関して2010年9月6日にパリで開催されたLSC 2010で発表した論文(Omoto 2010)の概要を紹介する。先島諸島の海岸には大津波で打ち上げられたとされるサンゴ岩塊が多数見られる。その多くは1771年の明和地震の後に発生した大津波により打ち上げられたと信じられてきた。地質学者や地形学者はサンゴ岩塊を採取し ^{14}C 年代測定を行い、その年代と津波との関係を明らかにしようと考え実行してきた。しかしその大部分の ^{14}C 年代は1771年の大津波とは一致しなかった。

この年代不一致の原因、サンゴ岩塊の運搬過程、サンゴ岩塊の年代と歴史地震との関係について明らかにするため、演者は野外調査により試料を採取し、 ^{14}C 年代測定を行って校正された暦年代にもとづき考察を行った。その結果、西暦2000年以前に地質学者や地形学者が使用していた ^{14}C 年代は安定同位体比が測定されておらず、conventional agesでも暦年代でもなかった。また年代測定試料とされたサンゴ岩塊は、生息地から海岸までの運搬された時、岩塊の回転や削磨作用により、その表層部が失われていた可能性が考えられた。さらにこれらのサンゴ岩塊は台風時の大波によって運搬された疑いも生じた。このような結果、サンゴ岩塊の年代と津波の発生年代が一致しなかったのではないかと考えられた。

このような考えにもとづき小元は宮古島の南東部、東平安名岬西部のマイバーバマに打ち上げられていた36個の津波石試料を採取した。 ^{14}C 年代測定された年代を暦年代に校正した結果、36個中4試料だけが誤差の範囲内で1771年の明和大津波の年代と一致した。しかしそれ以外の試料の年代は1771年の明和大津波の年代と一致しなかった。この結果はサンゴ岩塊を使用して津波の発生年代を ^{14}C 法によって正確に決定することが困難であることを示している。



第6図 先島諸島における大津波の発生年代の比較(Omoto 2010, 2011) 上図は河名・中田(1994)の第13図の確実度の高いデータを、下のバーは宮古島マイバーバマの津波発生年代を示す。

Figure 6 Comparison of occurrence times of huge tsunamis generated around Sakishima Islands (Omoto 2010 and 2011). Upper closed circles indicate high probability occurrence ages estimated by Kawana and Nakata (1994) while lower bars indicate occurrence times of Maibabama shore (Omoto 2010 and 2011).

サンゴ岩塊の校正年代は、1771年明和津波以前にも大津波がAD 1633 \pm 17y, 1576 \pm 6y, 1488, 1399, 1325 \pm 28y, 1229, 1141 \pm 24y, 920 \pm 50, 728 \pm 5y, 596, 395, 204 \pm 13y, 118 および BC 252 に発生したことを明らかにした(第6図)。このうちAD1633年と推定された年代は、史実に記録が記載されている1667年の津波の記録と誤差範囲で一致している。

大津波の周期性、すなわち再来周期について大津波の発生年代相互間の平均年代から推定することができる。計算の結果、過去の津波の平均再来周期は、80 \pm 20年, 135 \pm 5年, 200 \pm 20年および370年となった。しかし将来さらに長周期の再来周期が追加されるかもしれない。

4. 宮古島から採取した石灰華段丘の形成年代

最後に昨年 10 月 3 日に名古屋大学で開催された日本地理学会 2010 年度秋季学術大会で発表した標記の研究成果について発表要旨(小元ほか 2010a)を紹介し、次いで AMS 法と β 線法により測定した石灰華段丘の形成年代について考察した結果を紹介する。

研究目的

宮古島の南東、東平安名岬西方の宮渡崎太陽泉(通称:ティダガー)に発達する石灰華段(小元 2010b: 下記写真参照)の形成年代を明らかにするため、その構成物質、湧水および隣接するビーチロックに含まれていた貝化石を採取し、 β 線計測法および AMS 法により ^{14}C 年代測定を行ったので、その結果について報告する。

研究方法

野外調査により石灰華段の分布範囲を確認し、その特徴を調査した。精密地形図を作成するためレーザーレベルやトータルステーションによる基準点測量と地上型 3D レーザースキャナーによるデジタル写真測量を行った。年代測定用の試料を採取し、日本大学において β 線法、名古屋大学において AMS 法で ^{14}C 年代測定を行い CALIB 09 (Reimer et al. 2009) により歴年代を求めた。また石灰華段を涵養している湧水および海水について、pH・RpH、電気伝導度の測定、ならびに主要無機成分の水質分析を行った。

考察および結果

(1) 石灰華段は海拔約 30m の海成段丘崖下の斜面上、海拔約 5m から低潮位までの間に幅約 30m、長さ約 100m にわたり発達している。石灰華段は長径 1.8m から数 cm まで様々な形態を呈する。またその段差は 5mm から約 1m まであり、総数は 300 枚以上である。



写真：東平安名岬西方、宮渡崎太陽泉の石灰華段

Photo : Travertine terraces of Tidagah, Miyadohzaki, west of Higashihenna promontory.

(2) 湧水の ^{14}C 年代が約 200 年前を示したことから、琉球石灰岩層の影響が示唆された。湧水の化学成分分析結果は、湧水が琉球石灰岩層を通過した際の影響を示している。

(3) 石灰華段堆積物の rim stone から採取した試料は、奇妙なことに現在地上で生育している植物とほぼ同じ ^{14}C 濃度を示した。一方簡易ボーリング・コア最下部(20cm~40cm 下方で基盤岩直上)から採取した試料の年代は β 線測定法と AMS 法で測定値に大きな開きがみられた。詳細な検討結果については当日発表する。

以下に投稿中(小元ほか, 2011)の論文から宮渡崎太陽泉から採取した試料のうち、3箇所で行った簡易ボーリング・コア最下部から採取した試料、湧水および海水の ^{14}C 年代測定結果(第 7 表)について記載し、上記の結論を補充する(詳細は上記の論文を参照されたい)。

(4) 石灰華段丘の高位から採水した湧水の ^{14}C 年代は 224 ± 30 BP (NUTA2-14672)、また最高

位の石灰華段丘の停滞水の ^{14}C 年代は 251 ± 19 BP (NUTA2-15952) であった (第 5 表)。本来ならこれらの年代は核実験の影響を反映して“modern”または“super modern”となるはずであるが、低い ^{14}C 濃度を示した。この原因は、湧水や停滞水に琉球石灰岩層の一部が溶解している可能性を示唆する。

(5)簡易ボーリング・コア最下部 (基盤岩直上) から採取した試料の年代は、 β 線法と AMS 法で測定値に大きな開きが見られ、また AMS 法による測定値間でも大きな差異が生じている。しかしこの結果から AMS 法の信頼性が低いとは断言できない。すなわち同じ貝化石試料を β 線法 (NU-2108) と AMS 法 (NUTA2-15841) で測定した結果からは、同じ年代が得られている。この結果から、AMS 法では微量の炭素量で測定しているため堆積物に含まれる炭素の起源により年代差が生じたと考えられる。一方 β 線法では AMS 法より多くの試料が必要なため、堆積物の平均 ^{14}C 濃度にあたる年代が得られるため、大きな差異が生じないと考えられる。

第 5 表 宮古島宮渡崎太陽泉から採取した試料の年代 (小元ほか, 2011 より抜粋)
Table 5 ^{14}C ages of samples collected from Tigadah, Miyadohzaki, Miyako Island
(Omoto et al. 2011)

Lab. Code No.	Material	$\delta^{13}\text{C}$	Conv. Age	$\pm 1\sigma$	Cal(m)	Remarks
NUTA2-15495	travertine	-4.60	2021	25	1969	bore core-1
NUTA2-15842	Do.	-7.00	1500	29	1380	Do.
NU-2119	Do.	-3.68	3594	47	3901	Do.
NUTA2-15496	travertine	-4.80	17433	52	20574	bore core-2
NUTA2-15843	Do.	7.70	1722	29	1632	Do.
NU-2120	coral	-0.70	3702	48	4041	Do.
NUTA2-15841	travertine	-5.10	1190	28	1116	bore core-3
NU-2108	Do.	7.00	1189	57	1116	Do.
NUTA2-14672	spring water	-8.40	224	30	188	higher water
NUTA2-15952	standing water	-7.20	251	19	286	highest water
NUTA2-15951	sea water	-2.70	18.5‰	-	-	sea water

(6)簡易ボーリング・コア下部の枝サンゴの年代 (NU-2120) と石灰華段丘中央部のボーリング・コア下部の堆積物 (NU-2119) の年代差は 100 年前後で、両者は誤差範囲にある。よって石灰華段丘堆積物の堆積開始は 3,900cal BP から湧水の補正年代 300 年を差し引いた 3,600 cal BP となる。ただしこの年代測定試料が石灰華段丘のほぼ中央から採取されたことを考慮すれば、今後さらに汀線に近い低位の石灰華段丘堆積物から採取された試料について年代測定を行った場合、これより古い年代が出ることも十分に予測される。

IV まとめ

演者が過去 45 年余にわたり行った ^{14}C 年代測定に関する研究は多岐にわたる。本講演では、その研究成果の中からいくつかを選んで紹介した。講演のタイトルの由縁は、演者が歩んできた道—すなわち研究対象地域とその研究内容—を示している。本日も紹介した研究成果は

発表当時に考察した内容に従ったが、その後長い時間が経過した研究成果もあり、新たな証拠にもとづく見直しが必要なものもあるかもしれない。

1940年代にリビーらによってはじまった ^{14}C 年代測定も、1977年以降改良に改良を重ねてきたAMS ^{14}C 年代測定法が今日では主流になっている。今後さらにAMS ^{14}C 年代測定法の長所を生かし、ますます学際的な分野で ^{14}C 年代を使用する研究が進展することを期待したい。

若い研究者の皆さんが、国際会議という場で今後ご自身の研究成果を発表できる機会を多く持たれることと、年代測定に携わっている方々は海外の研究機関や実験室を訪問して多くのノウハウを取得し、研究に活用されることを期待したい。

謝辞

^{14}C 年代測定の機会を与えていただいた恩師の西村嘉助先生および籠瀬良明先生はじめ東北大学理学部および日本大学文理学部の関係者の皆さんと、 ^{14}C 年代測定のノウハウについてご指導いただいた内外の多くの機関の研究者の方々に御礼を申し上げます。またこのたび由緒ある野依記念学术交流館で講演の機会を与えていただいた名古屋大学年代測定総合研究センターの中村俊夫教授と事務局の皆さん、そして長い時間にわたりご静聴いただいたシンポジウム参加者の皆さんに心から御礼を申し上げます。

参考文献

- 河名俊男・中田 高 1994. サンゴ質津波堆積物の年代からみた琉球列島南部周辺海域における後期完新世の津波発生時期. 地学雑誌. **103**(4), 933, 352-376.
- 木越邦彦 (1965) 年代測定法. 紀伊國屋書店. 東京. 222p.
- Nakamura, T., Nishida, I., Takada, H., Okuno, M., Minami, M. Oda, H. 2007. Marine reservoir effect deduced from ^{14}C dates on marine shells and terrestrial remains at an archaeological sites in Japan. *NIMB*, Elsevier, **259**, 453-59.
- Omoto, K. 1972. A Preliminary Report on Modern Carbon Datings at Syowa Station and its neighborhood, East Antarctica. *Antarctic Record*. **43**, 20-24.
- Omoto, K. 1976a. Subglacial Geomorphology of Mizuho Plateau and around Yamato Mountains, East Antarctica. *Science Reports of the Tohoku University, 7th Series (Geography)*. **26**(1), 47-99.
- Omoto, K. 1976b. Glacio-geomorphic Study on Submarine Morphology East of Lutzow-Holm Bay, East Antarctica. *Science Reports of the Tohoku University, 7th Series (Geography)*. **26**(2), 241-297.
- Omoto, K. 1977. Geomorphic Development of the Soya Coast, East Antarctica. — Chronological Interpretation of Raised Beaches Based on Leveling and Radiocarbon Datings —. *Science Reports of the Tohoku University, 7th Series (Geography)*. **27**(2), 95-148.
- 小元久仁夫 1982a. ^{14}C 年代測定範囲の拡大に関する研究. 昭和56年度文部省科学研究費補助金. 一般研究 (A) 研究成果報告書. 笹気出版印刷. 仙台市. 20p.
- 小元久仁夫 1982b. ^{14}C 年代測定の自動化に関する研究. 昭和56年度文部省科学研究費補助金. 試験研究(2) 研究成果報告書. 笹気出版印刷. 仙台市. 24p.
- Omoto, K. 1982. Development of BASIC Program for Radiocarbon Dating. *Science Reports of the Tohoku University, 7th Series (Geography)*. **32**(1), 14-45.
- Omoto, K. 1983. Radiocarbon Dating Using a Low-background Liquid Scintillation Counting System. *Science Reports of the Tohoku University, 7th Series (Geography)*. **33**(1), 23-43.
- Omoto, K. 1985. The Problem and Significance of Radiocarbon Geochronology in Antarctica. In

- Antarctic Earth Science* (Eds. Oliver, R.L., James, P.R., and Jago, J.B.). Australian Academy of Science. Canberra. 1983. 450-452.
- Omoto, K. 1995. A Beta-counting system linked to a personal computer. In *Proceedings of the 15th International Radiocarbon Conference in Glasgow, Scotland*. Eds. Long, A. et al. *Radiocarbon*, **37**(2), 767-772.
- Omoto, K. 1998. Development of New Beta-counting Programs Operate under a Windows NT Workstation. In *Proceedings of the 16th International Radiocarbon Conference in Groningen, The Netherlands*. Eds. Mook, W.G. and J van der Plicht. *Radiocarbon*. **40**(1), 151-155.
- 小元久仁夫・大木真之 1999. Windows NT Workstation 4.0用全自動¹⁴C年代測定プログラムの開発—. 日本大学放射性炭素年代測定報告 6. 日本大学文理学部自然科学研究所「研究紀要」, **34**, 73-99.
- 小元久仁夫 2010a. 宮古島で観察された石灰華段,津波石および膠結海浜砂層の特徴. 日本大学文理学部自然科学研究所「研究紀要」 **45**, 83-94.
- Omoto, K., Takeishi, K., Nishida, S., and Fukui, J. 2010. Calibrated ¹⁴C ages of Jomon sites, NE Japan and their significance. In *Proceedings of the 20th International Radiocarbon Conference, Kona, Hawaii, U.S.A.* Eds. *Radiocarbon*. **52**(2), 534-548.
- Omoto, K. 2010. The problem of age determination of coral boulders deposited by the Meiwatsunami and the time of occurrence of the past tsunamis. In *LSC 2010 International Conference on Advances of Liquid Scintillation Spectrometry. Abstracts & Programs. Paris. Sept. 6-10, 2010.*
- 小元久仁夫・中村俊夫・森和紀・田中邦一・松田重雄・大八木英夫・安谷屋昭・久貝弥嗣・新城宗史 2010. 宮古島東平安名岬西方、太陽泉（ティダガー）で確認された石灰華段の形成年代. 日本地理学会発表要旨集 **78**, 156.
- 小元久仁夫 2010b. 『南極から美ら海まで—¹⁴C年代測定 45年間の成果—』. 第5回年代測定と日本文化研究 シンポジウム予稿集. シンポジウム事務局（株）加速器分析研究所, 1-18.
- 小元久仁夫 2011. 私の RI 暦書「南極試料の¹⁴C年代測定」. ISOTOPE NEWS, **682**, 23-27.
- 小元久仁夫・中村俊夫・森和紀・田中邦一・松田重雄・大八木英夫・安谷屋昭・久貝弥嗣・新城宗史 2011. 宮古島東平安名岬西方、ティダガー（太陽泉）の石灰華段丘地形、堆積物の較正年代および水質分析結果について. 日本大学文理学部自然科学研究所「研究紀要」 **46**（印刷中）.
- Omoto, K. 2011 The problem of age determination of coral boulders deposited by the Meiwa tsunami and the time of occurrence of the tsunami. In *LSC 2010 Advance in Liquid Scintillation Spectrometry. Radiocarbon. Tukson.*
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Ramsey, B.C., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Reimer, R.W., Richards, D.A., Southon, J.R., Talamo, S., Turney, C.S.M., van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.E. 2009. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* **51**(4):1111–50.
- Uchio, T. 1966. Critical review of the marine geological results around the Syowa Station obtained during the first series of the Japanese Antarctic Research Expeditions (1956-1962). *Antarctic Record*. **27**, 78-87.
- 注：上記に掲載されていない文献は引用した原著論文の文献をご参照ください。