

^{14}C 年代測定値の広い意味での誤差について

学習院大学理学部 木 越 邦 彦

まえがき

放射性炭素 ^{14}C による年代測定値と、目的とする知りたい年代の間には、多少とも常にひらきがあるといってよい。このような広い意味での ^{14}C 年代測定値の誤差をここで取りあげ、どのような場合があるかを説明するつもりである。

^{14}C 年代測定は、物理的および地球科学的な二三の仮定の下に、炭素中の ^{14}C 濃度の測定値から出されたもので、 ^{14}C 濃度の測定自身にも誤差があり、更に仮定そのものがいずれも理想的な場合を仮定しているため、我々とのくいちがいによる原理的な面での誤差が含まれてくる。

年代を測定したい目的の事件にともなって生物が生命を断たれ、その生物の遺がいが現存するとき、目的の事件の起った年代を、その生物遺体中の ^{14}C 濃度から求めるのがもっとも通常の ^{14}C 年代測定法といえることができる。このような場合、生物遺体と目的の事件との関連が、時間的に短いか長いかが問題で、もちろんこの点については、地質学や考古学のそれぞれの分野の問題であろう。その意味では、この点について ^{14}C 年代測定を行っているものが言及するのはむりであり、非常識なことも出ると思いますが、多くの測定例からの意見もある意味ではそれぞれの専門分野の人にも役立つのではないかと考えて、この点にも本稿ではふれることにした。

ここでは従って、(1) ^{14}C 濃度の測定自身に関すること、(2) 原理的な面での ^{14}C 年代測定値にはいる誤差、(3) 試料に関する問題の3つに大別して説明を試みる。

1. ^{14}C 濃度の測定に関する誤差

この問題は全く物理化学的なもので、誤差に関する責任は測定者にあるといってよい。しかし現在 ^{14}C の測定はその放射能によって行なわれているため、放射線の放出にもなる自然現象としての統計的*ゆらぎに基く誤差を全く除去することはできない。通常この誤差のみが測定値に±をつけて示してある。この誤差は、 ^{14}C から放射線を多数測定することによって小さくすることができるので、原理的には、長時間の測定を行いか、多量の炭素について測定を行いかによってかなり小さくすることができる。現在では表された数字の上ではこの±の値は数千年 B. P. (before physics の略、1950年よりかぞえての年数)位まででは30年位にすることも可能である。しかし以下にのべる誤差を考慮すると、この測定をいかに精密に行

っても意味がないことになり、実用的な面では、現在の所特に炭素の量が少量である場合を除けば、充分の精度をもつ測定が行なわれているといつてよいであろう。

2. 原理的な面ではある誤差

^{14}C 年代測定では、生物遺体の中の炭素について、 ^{14}C 濃度が正確に測定され、また次の仮定が成立しているならば、測定された年代値は、正確にその生物が生存していた時期を示すことになる。その仮定は

- i) 試料としている炭素が、その生物に含まれていた炭素以外のものを含まないこと。
- ii) 生物体の有機物ができたとき、その炭素中の ^{14}C 濃度がその時生育している木中の ^{14}C 濃度に等しいこと。
- iii) 大気中の ^{14}C 濃度が至る所一定であったこと。
- iv) 大気中の ^{14}C 濃度が現在、過去を通じて一定であったこと。

の4点である。ここではこれらの点について、順にその内容と誤差の大きさについて述べる。

i) の点については、それぞれの試料によって異り一般論をのべることはむづかしい。木炭の場合には、炭化が起った時期に含まれていた有機物が現在まで残されているわけで、その時にすでに含まれていた異物は、木炭となってからでは一般には除去できない。しかし木炭となつてから吸着などによって含まれた無機物および有機物の一部からくる炭素は除去することが可能である。木材では、セルロースを分離し精製することにより、目的物件の炭素を除去することが可能であるが、一般にそれほど広く行なわれているわけではない。実際には、異質物の混入はそれほど多量でなく、簡単な酸、アルカリによる処理で除した程度で測定値には殆んど影響がないと考えてよい。木炭、木材以外の試料については、それぞれの場合に処理法が考えられ、測定にえいきょうする異質物を取り除く方法が考えられているが、試料と同質のものが均一に混入している場合には、これを取除くことは全くできないので、全部が誤差としてはいることになる。

ii) の点についてはいろいろの原因でこの理想的条件が満足されていない。ほとんどすべての陸上植物は、大型の樹木が空気中の炭酸ガスを同化作用で取り入れる機構と同様にして有機物をつくるが、植物の種類による同化作用の同位体効果の異同が問題となる。この差は、あるとしても大きくなく、ほとんどの場合無いものとみなしてさしつかえない。陸上動物が植物をたべ、あるいはその動物が他の動物の食料となる食物じゅんかんは、一般にそれほど長時間けい続するものではなく、高々数十年とみてよいであろう。極地のような特殊な環境では百年以上の長期にわたる可能性も考えられるが、一般には陸上動物についても植物とほぼ同様と考えてよいであろう。

海の生物の場合には、海水中の炭酸が大気中の CO_2 の炭素と異なる ^{14}C 濃度をもつため問題は

複雑となる。海の動物性の有機物が年代測定の対象となることは稀であるので、貝殻ができるときの同位体効果は、大気中の CO_2 と海水中の炭酸の間の ^{14}C 濃度の差によるものを打ちけす方向にきくため、結果としては貝殻中の ^{14}C 濃度は、その時生育している樹木中の炭素の ^{14}C 濃度とほぼ等しくなっている。従って何の補正も加えなくても、 ^{14}C 濃度の測定値を木炭・木材の場合と同様に取扱って比較的正しい結果が得られる。

実際には海水中の ^{14}C 濃度は、大気中と異り、かなり場所による大きな変化があり、そのために貝殻については原理的に誤差はいりやすい。そのため貝殻についての年代測定は、理想的にはその貝殻のそだった地域での現在の貝殻を試料として、その地域の海水中の ^{14}C 濃度を確かめておく必要がある。もっとも現在では原水爆実験のための ^{14}C 濃度の変動があるため、十数年以上古い試料でなければならない。

上述の貝殻に関することは、もち論、貝が通常の海水中で生育した場合で、汽水性の場合あるいは淡水の貝では、時に多量の石灰岩に起源をもつ炭酸イオンが貝殻の主な原料となり、非常に古い年代を与えることがある。これも現在までその環境がつづいておれば、現在生育しているものについて、このような大きな誤差はないといえるか否かを確かめることができる。

iii) の大気中の CO_2 中の ^{14}C 濃度の一定性については、大気の混合が比較的よいためかなり一定になっていると考えてよい。特殊な環境、例えば炭酸ガスの噴気口の近く、あるいは石灰岩等に起因する無機炭酸を多量に含む水面近くに育生した植物などでは、数百年以上実際より古い年代を与える例がある。

局地的な問題でなく、海洋性の気団と大陸性の気団という大きな区分をしたとき、両者の間には僅かではあるが ^{14}C 濃度に差のあることが考えられている。(木越1966)。この差は1%前後で、一般には測定誤差の中にはいる程度であるが、特に精密さを必要とするときは考慮する必要があるかも知れない。

iv) の大気中の ^{14}C 濃度の経年変化に関する点が、 ^{14}C 年代測定の原理にはいる誤差のもっとも重要なものといえる。もっとも、ある意味では、この誤差はすべての測定値に共通にはいつくするため、 ^{14}C 年代のみで編年を論じるかぎり全く無視することができるので重点ではないと言えるかも知れない。後にあげる補正曲線から見られるように、特定の ^{14}C 測定年代に対応する実際の年代(暦年代)が一意的にきまらない場合があり、このような場合には本質的な重要性をもっている。

大気中の ^{14}C 濃度の経年変化を測定するためには、年代が他の方法で正確に知られている木材等について ^{14}C 濃度を測定し、その知られた年代の間での ^{14}C の変動による減少をもとにもどし

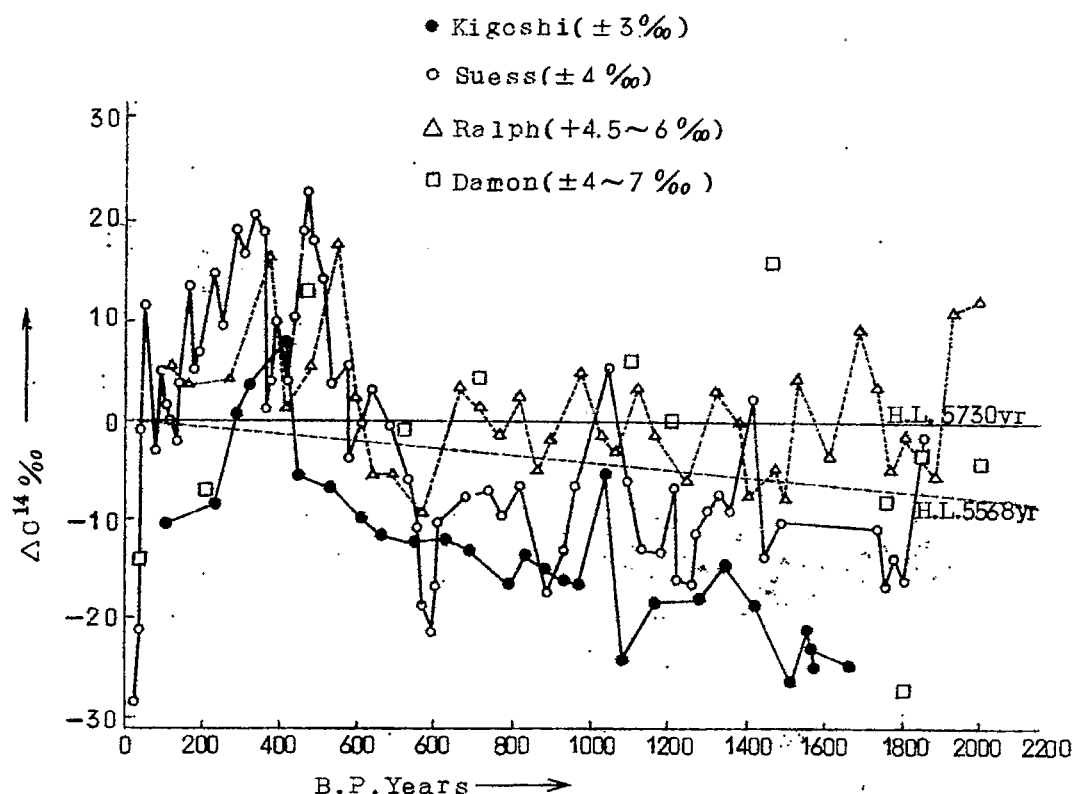
て、その当時の大気中の ^{14}C 濃度を求める方法がとられている。

知られた年代の木材試料としては、歴史的に年代が知られているものと、現在まで生きていた巨木の年輪をかぞえて、その年輪の部分が生育した年代を算出する方法が現在とられている。前者の歴史年代は、エジプトの試料が多数用いられ、2000～5000 B. P. の年代について測定値が出されている。しかしこれらのものは試料と歴史年代の間の関係が明らかでなく、例えば墓のつくられた年代が歴史的に明確であっても、そこに使用された木材が生育した年代は、その墓のつくられる以前であることは確かであろうが、どの程度の差があるかを判定することは困難である。この意味では、これらの測定値は、知られた年代が下限のみしか明確でないといえる。

年輪を用いた場合には、年輪が1年に1個、正確につくられればよいが、多くの巨木を産するカルホルニア、アリゾナでは季節の変化が明確でなく、多数の偽年輪や、年輪の欠陥したものがある。これらに対しては、年輪年代学による補正が加えられ、かなり年数の推定は正確に行なわれていると考えてよいであろう。

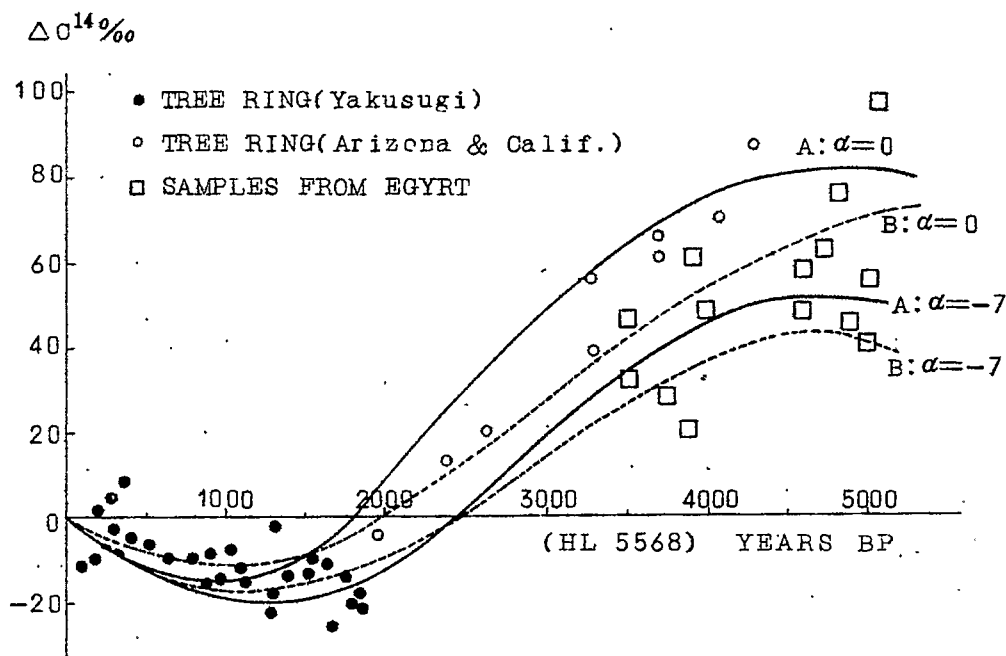
1965～1966年に公表された年輪による大気中の ^{14}C 濃度の測定値は、第1図に示したようにその変化の様子に共通したものがある。

(Kigcshi et. al. 1966, Suess 1965, Ralph et. al. 1965, Damon et. al. 1966) 特に Suess の測定値と、本邦の屋久杉についての測定値の間の変化はよく一致し、屋久杉については偽年輪等の補正を全く加えていないにもかかわらず、正確に両者の年輪の推定が一致していることを示している。更に屋久島とカルホルニアといった遠くはなれた地点で生育した木材試料についての測定値が一致していることは、大気中の ^{14}C 濃度の経年変化が地球全体のものとして意味をもつものと考えてよいことを示している。一般的傾向として屋久杉についての測定値が Suess の測定値に比較して1～1.5%低い値を示すことについては恐らく大気中の ^{14}C 濃度が海洋性気団の場合1～0.5%低いことに起因すると考えられる。(木越1966)



第1図 年輪による過去の大気中の ^{14}C 濃度の実測値

木材年輪による2000年B.P.までの測定値に示される複雑な変化は太陽活動によるものと推定されるが(Suess 1965),次にのべるゆるやかな長期にわたる変動がこれに加わっていると見ることができる。A.D.1900年以降の急激な ^{14}C 濃度の減少は,恐らく人類活動による化石燃料(石炭・石油)の燃料による大気中への CO_2 の附加によるいわゆるSuess効果によるものと考えられている。

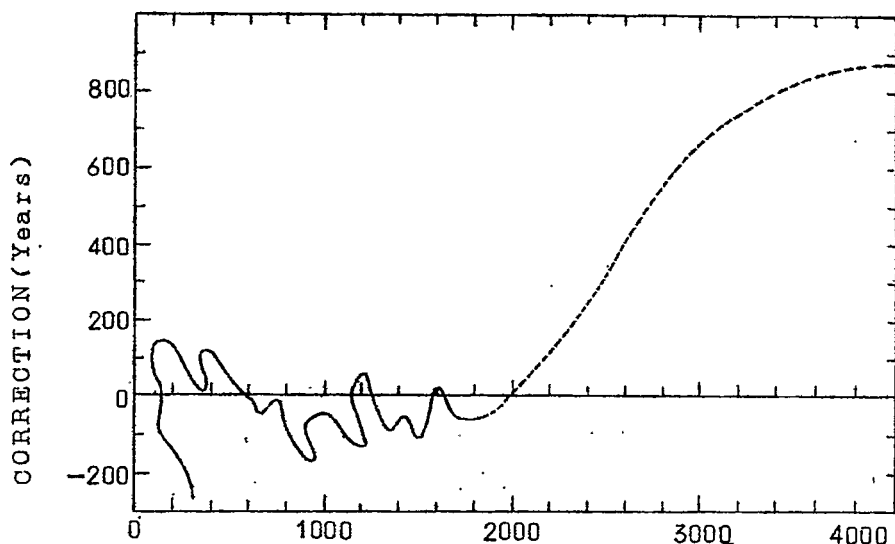


第2図 地磁気の経年変化から算出された大気中の ^{14}C 濃度の経年変化と実測値

年輪による ^{14}C 濃度の測定は、現在7000近くの年輪をもつ巨木について研究が進められ、すでに測定値も出されている(Damon 1966等)が将来7000年まではかなりの精度で測定しうる可能性がある。いままで測定値を表示すると第2図のようになり、大気中の ^{14}C 濃度がゆるやかな大きな変化をしていることが明確に示される。この変化は地磁気の経年変化に起因する宇宙線の強度の経年変化によるものと考えられ、これにもとづく計算値の考えられるはんいは第2図の曲線ABなどで示されている。(Kigoshi, Hasegawa 1966)この大きな変動によって、約4000 B.P.では ^{14}C 年代は800年近く新しすぎる年代を与えることになる。2000年 B.P.までの ^{14}C 濃度の実測値はかなり正確なものと考えられるので、この実測値を用いて一応 ^{14}C 年代を暦年代に換算する補正表をつくることができる。(Stuiver, Suess 1966, 木越1967)この補正表として第3図にグラフがあげてある。2000年以上の部分は、正確な測定値がないため、 ^{14}C 濃度の変化は傾向のみしかわからないため、このグラフでは点線で示すにとどめてある。

この補正曲線は、横軸に測定された ^{14}C 年代をとり、縦軸に加えるべき補正の年数が目盛っている。例えば850年 B.P.の ^{14}C 年代が得られたとすれば、補正値は殆んど零で暦年数にして

も850年以前であったことになる。



第3図 0-14年代(^{14}C の半減期として5568年を用いて出した1950年
よりの年数)を真の年数に換算するため加えるべき補正值(木越・1967)

^{14}C 年代として1100年B.P.が得られたときは、補正值として加えるべき年数は-150,-100,+30年の3つの場合があり、相当する暦年代は $1100-150=950\text{B.P.}$ 、 $1100-100=1000\text{B.P.}$ 、および $1100+30\text{B.P.}$ のいずれであるかは、 ^{14}C 年代測定法では原理的にきまらないことになる。更に ^{14}C 年代測定値に±の誤差が実際にはついていため、多くの場合 1100 ± 50 でも 1100 ± 100 でも暦年数で1000年B.P.から1300年B.P.のいずれであるかを決定することは不可能であることになる。このように第2図の補正曲線は、実際の補正にも多少は役立つかも知れないが、むしろ ^{14}C の年代測定値の精度の限界を示すものとして見ることに重要な意味がある。

補正曲線のゆるやかな大きな変化は、暦年代に換算するとき大きな補正量となるから問題は重要なようであるが、実際には歴史年代の知っているものと比較する場合を除けば、 ^{14}C 法以外の精度の高い年代測定法の結果と比較しないかぎりあまり本質的重要性をもってこない。しかし字

宙線の強度の経年変化の研究,あるいは地磁気の変動に関する問題を研究するため,大気中の ^{14}C 濃度の経年変化を1万年以上古い所でも求めることが要求され, ^{230}Th (半減期8万年)による年代測定を利用する方法などが考えられている。

3. 試料に関する問題

試料と測定したい年代との間の関係は,個々の場合でそれぞれ特殊な事情のあることが多く,一般論は述べたいが,ここでは試料別になるべく一般的な場合をあげておくことにする。

i) 貝殻の場合 貝殻を利用して貝殻がつくられた年代を求めるとき,あるいは自然貝層の貝を用いてその地層の堆積年代を測定する場合などは,一般論として,試料の貝の形成年代と目的とする事件のおきた年代の間の差は小さくなく,この意味での測定値に対する信頼性は高い。もち論貝が装飾品や通貨として用いられていた場合には,その文化の継続年数に応じた不確定性がのこるであろう。

ii) 骨および動物のふんによる場合 食料とした動物の骨やふんを利用して,これを食用とした人類の活動時期,あるいは人骨によるその人類の活動時期の測定は,試料と目的の事件が密着しており,この点では問題はないが,試料としては2の(i)で述べた理由による誤差のはいる恐れが大きい。

iii) 木炭・木材による場合 出上した木炭木材と,知りたい年代との関連はいろいろの場合がある。考古学,人類学では,多くの場合住居跡に残留した木片,木炭を用いて,住居跡の用いられた年代を知ろうとする場合が多い。木炭が試料として用いられるときもしそこで生木が燃料として用いられたのであれば, ^{14}C 年代測定値は知りたい年代に近いものを与えるのであろう。しかし燃料としては流木のようなものが用いられる可能性はかなり高いであろう。流木も地表でかれ,あるいはたおれた木が流されたものであれば,その木の生育した年代から燃料となった年代の間は高々100~200年程度であるかも知れない。しかし流木が一旦地層中にうずもれ,これが再び流木となった場合にも千年以上の経過年数はむしろ短い方かも知れない。木材や木炭による ^{14}C 年代の測定値が,時として考古学的には考えられないような古い年代を示すことはしばしばある。また一つの住居跡で殆んど同時代と考えられる層から得られた木炭が500年から2000年B.P.にわたる種々の年代値を与えている例もある。これらは恐らく古い流木を燃料としていたためではないかと考えられる。

流木を利用して地層の堆積年代を求める場合にも同様のことが言える。地層の場合には上述のような二次的な流木が堆積する場合,あるいは堆積物自体が二次的である場合とあり,更に地すべりなどによる変動が加わっている場合には,測定したい年代と生物の生育した年代(^{14}C 年代)

との間の関係は非常に複雑なものになってしまう。

火山爆発などで作られた木炭から火山噴出物の堆積年代を求める場合には、一般に非常によい関連があり、どの木炭試料をとっても一つの事件に対応して一定の ^{14}C 年代測定値を与える。

引用文献

Damon, P.E., A. Long and D.C. Grey (1966)

J. Geophys. Res. 71 1055

木越邦彦 (1966) 日本化学雑誌 87 209

木越邦彦 (1967) 第四紀研究 6 151

Kigoshi, K. and H. Hasegawa (1966)

J. Geophys. Res. 71 1065

Ralph, E.K., H.N. Michael and J. Gruninger, Jr. (1965) Radio-carbon 7, 179

Stuiver, M. and H.E. Suess (1966)

Radio-carbon 8 534

Suess, H.E. (1965) J. Geophys. Res. 70, 5937