

樹木樹幹内の ^{14}C 濃度

木方洋二*・森下二三夫*・米延仁志**・服部芳明*

*) 名古屋大学農学部林産学科木材物理学講座

**) 名古屋大学農学部林学科森林経理学講座

1. はじめに

1950年以降に行われた大気圏内の核実験により、大量の $^{14}\text{C}\text{O}_2$ が形成されたことから、それまではほぼ一定に保たれていた大気中の ^{14}C 濃度は急激に増加した。Fig.1のように大気中の ^{14}C 濃度は、核実験が主に北半球中高緯度で行われたことから、緯度依存性を有し、急増しはじめてから収束に至るまでの間、中高緯度で高く緯度の低下と共に低い値を示し¹⁾、南半球では緯度による変動がほとんどみられないことが明らかとなっている²⁾。中村らにより本邦産(35.6°N, 137.5°E)ヒノキ樹幹内の ^{14}C 濃度の経年変動が測定され、樹幹内の ^{14}C 濃度においても1954年以降急増が認められた。年輪を有しないマレーシア産(6°N, 118°E付近)セラヤ材において、木部表面から1cm毎に ^{14}C 濃度が測定された結果、セラヤ材の ^{14}C 濃度の最大値はヒノキ材のそれより低いことが知られ³⁾、以上の結果より樹幹内の ^{14}C 濃度においても成育場所に応じた、大気中の ^{14}C 濃度と同様な緯度依存性があるものと考えられた。本研究ではこれまで測定されていない南半球の樹木について ^{14}C 濃度を測定し、ヒノキ材の ^{14}C 濃度との比較、大気中の ^{14}C 濃度との比較により、樹木の ^{14}C 濃度の緯度依存性についての考察を行った。さらに得られた結果を基に、増加した ^{14}C をトレーサーとして年輪を有しない樹木において材の形成時期を推定する方法について検討した。

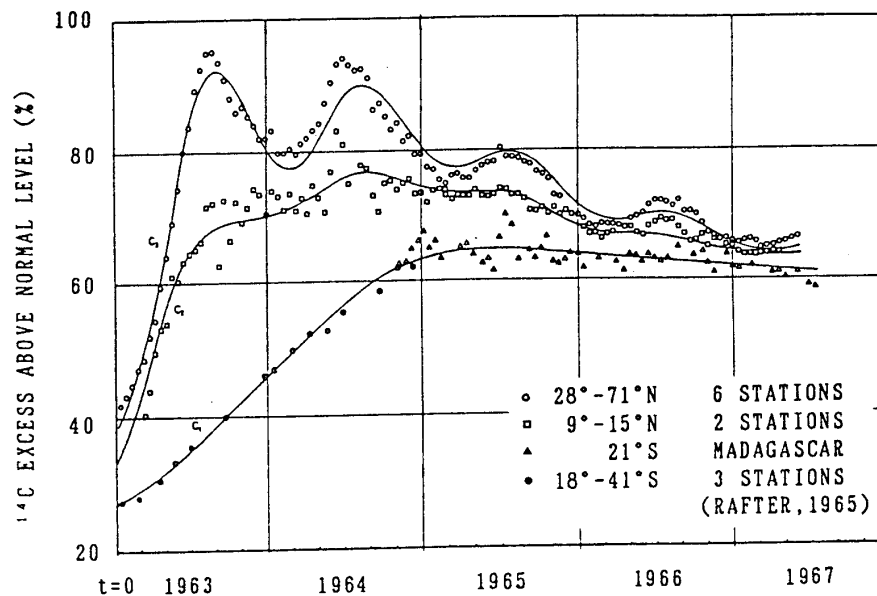


Fig.1 $\Delta^{14}\text{C}$ values in the troposphere at various latitudes 1963-1967 [Nydal, 1968].

2. 研究方法

本研究に用いた試料はインドネシア産(7°S, 111°E付近)チーク材(*Tectona grandis*)と、チリ産(38°S, 72°W付近)Lingue(*Persea lingue*)である。伐採時期は、チーク材が1986年5月に巻枯らし(girdling)された後、1988年8月27日、Lingueが1989年1月23日であった。各試料共に年輪を有しており、測定に用いた部分の年輪幅は、チーク材が平均約4mm、Lingueが約1~2mmであった。

年輪年代を決定するため木口面を実体顕微鏡で観察し、さらにマイクローム切片を作製して光学顕微鏡による観察も行った。また、チーク材については偽年輪らしきものが認められたため、4方向の半径方向に連続する光学顕微鏡写真を撮影し、それにより年輪年代を確定した。

^{14}C 濃度測定用試料としては、各年輪の外周に沿って半径方向に年輪幅の4分の1程度を約100mgづつ採取した。試料採取に当たっては、チーク材についてはカッターナイフを用い、年輪幅の狭いLingueについてはマイクロームを用いた。成長期との関連から、試料とした部位の形成時期は、チーク材では6月から7月、Lingueでは3月から4月頃と考えられた。

天然放射能測定試料調製法⁴⁾に従い、各年代の試料を前処理し調製した後、名古屋大学年代測定資料研究センター第一実験室においてタンデトロン加速器質量分析計⁵⁾を用いて ^{14}C 濃度を測定した。

3. 結果と考察

3-1. チーク樹幹内の ^{14}C 濃度変動

インドネシア産チーク材について ^{14}C 濃度測定した結果をFig.2に示す。ヒノキ材の ^{14}C 濃度変動とセラヤ材の ^{14}C 濃度の最大値も合わせて示した。ヒノキ材とチーク材の ^{14}C 濃度は、測定に用いた部位の形成時期に応じて、各年の6月に当たる座標にプロットした。ヒノキ材と比較してチーク材の ^{14}C 濃度は低い値を示している。最大値の出現時期は、ヒノキ材が1964年であるのに対し⁶⁾、チーク材では1965年となり1年の差があることがわかる。また、最大値はヒノキ、セラヤ、チークの順で低くなっており、

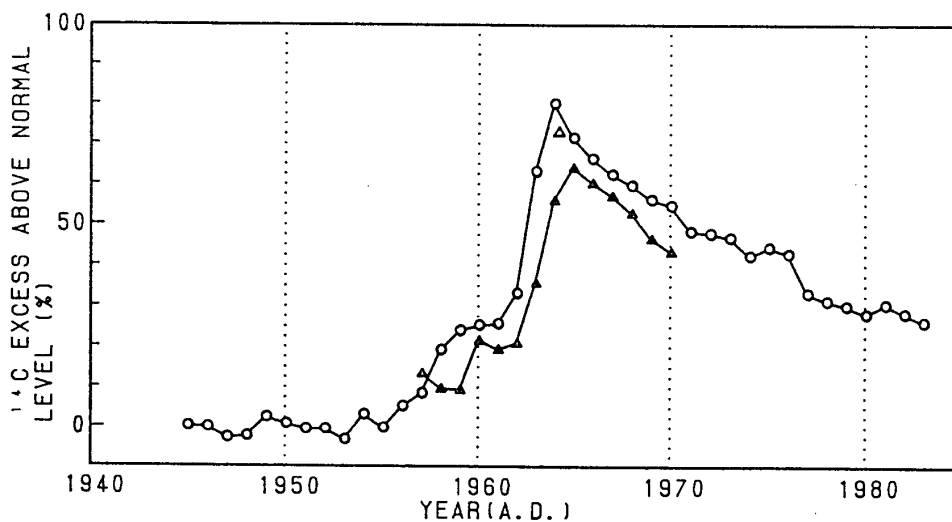


Fig.2 $\delta^{14}\text{C}$ values in tree rings vs. ring years for a hinoki (35.6°N, 137.5°E, Nakamura et al., 1987) (○) and a teak (7°S, 111°E) (▲). Maximum value of $\delta^{14}\text{C}$ for a seraya (6°N, 118°E) (△).

北緯35.6度、北緯6度、南緯7度と成育した場所の緯度が南下するにつれて低い値を示している。

これらのことから、1954年以降樹木樹幹内の ^{14}C 濃度にも大気中の ^{14}C 濃度と同様な緯度依存性があり、北半球においては中高緯度で高く、緯度の低下とともに低い値を示すものと考えられる。

3-2. 樹木が取り込む ^{14}C 量の個体差

先に測定したチーク材と同じ林分内で伐採されたチーク材を用いて1961年から1968年の年輪について同様に ^{14}C 濃度を測定し、樹木が取り込む ^{14}C 量に個体差があるか調べた。

Fig. 3に2本のチーク材の ^{14}C 濃度を示す。2本目に測定したチーク材の ^{14}C 濃度は、先に測定したチーク材より全体的にやや高い値を示した。両者の ^{14}C 濃度の差の平均は約3%であった。このような差異が現れた原因としては、材の伐採地周辺の環境の差異などが考えられる。しかし両者の ^{14}C 濃度の経年変動の形はほぼ等しく、相関を調べたところ、相関係数は0.976となり非常に高い相関があった。

以上のことから、同じ林分内に成育した樹木中の ^{14}C 濃度にも、この程度の差異があるものと思われる。以後チーク材の ^{14}C 濃度としては測定した2本の平均値を用いる。

3-3. Lingue樹幹内の ^{14}C 濃度

Lingue樹幹内の ^{14}C 濃度を測定した結果をヒノキ材、チーク材の ^{14}C 濃度と比較してFig. 4に示す。Lingueの ^{14}C 濃度は、測定に用いた部位の形成時期に応じて、各年の3月に当る座標にプロットした。

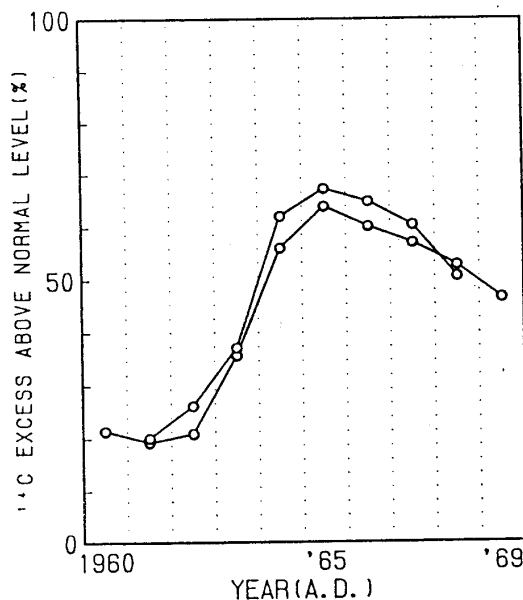


Fig. 3 $\delta^{14}\text{C}$ values in two teaks cut down in the same forest.

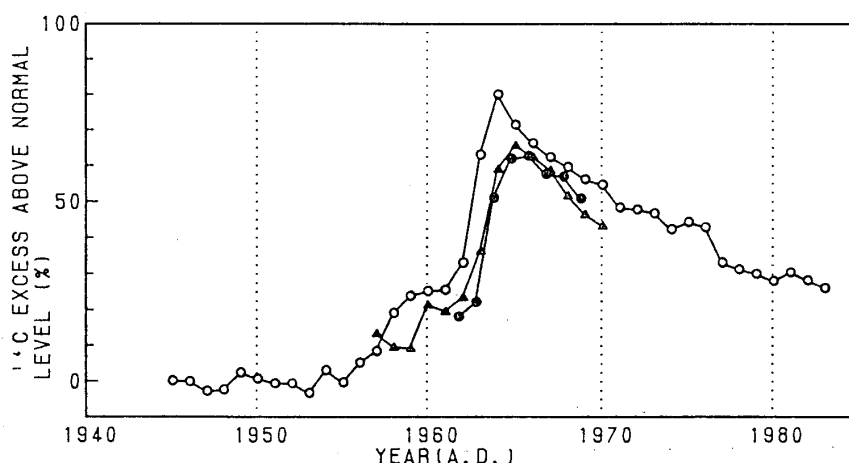


Fig. 4 $\delta^{14}\text{C}$ values in tree rings vs. ring years for a hinoki (35.6°N, 137.5°E, Nakamura et al., 1987) (○), a teak (7°S, 111°E) (▲), and a lingue (38°S, 72°W) (●).

図を見るとLingueの ^{14}C 濃度はチーク材と比較して、1962年から1963年までの間はやや低い値を示しているがそれ以後はほぼ一致した値を示している。南緯38度のLingueの ^{14}C 濃度は南緯7度のチーク材とはほぼ等しい経年変動をしているものと考えられる。

これにより、Rafterらが示した南半球における大気中の ^{14}C 濃度の経年変動には緯度による差異がほとんどないという結果²⁾と同様に、南緯7度以南に成育した樹木の樹幹内の ^{14}C 濃度についても、経年変動が緯度に依存しないものと考えられる。

3-4. 樹幹内の ^{14}C 濃度と大気中の ^{14}C 濃度との比較

ヒノキ材、チーク材、そしてLingueについての ^{14}C 濃度を、それぞれが成育した緯度に最も近い緯度において測定された大気中の ^{14}C 濃度と対応させて、Fig. 5に示す。北緯35.6度のヒノキ材には北緯42度の大気中のデータを、南緯7度のチーク材と南緯38度のLingueには南緯18度から南緯41度までの3地点で測定された大気中のデータを対応させた。

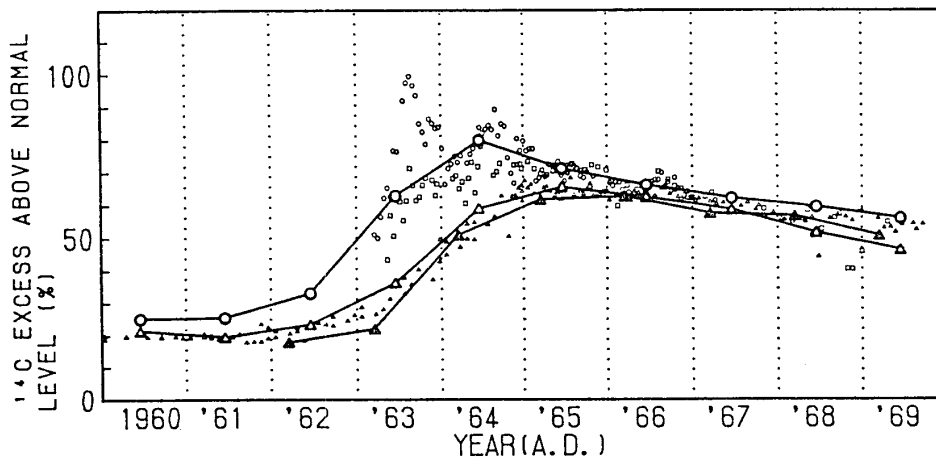


Fig. 5 $\delta^{14}\text{C}$ values in a hinoki (35.6°N, 137.5°E, Nakamura et al., 1987) (○), a teak (7°S, 111°E) (△), and *Persea lingue* (38°4'S, 71°54'W) (▲) compared with atmospheric $\delta^{14}\text{C}$ values measured in Northern Spain (42°53'N, 8°26'W) (□), Ethiopia (8°40'N, 38°58'E) (□), and Madagascar (21°27'S, 47°5'E) (△) (Nydal et al., 1983), in Fiji (18°S, 178°W) (△) and New Zealand (41°18'S, 174°14'W) (▲) (Rafter, 1965).

これまでに、ヒノキ年輪の ^{14}C 濃度は年輪形成時の大気中の ^{14}C 濃度とほぼ等しい値を示すことが報告されている³⁾。Fig. 5からも、ヒノキ材の ^{14}C 濃度が北緯42度の大気中の ^{14}C 濃度とよく一致していることがわかる。南半球低緯度における大気中の ^{14}C 濃度のデータがないため、南緯7度のチーク材には南緯18度から南緯41度の大気中のデータを対応させた。チーク材の ^{14}C 濃度と大気中の ^{14}C 濃度とは、1968年から1969年の間はチーク材がやや低い値を示す以外は、よく一致している。Lingueについても大気中の ^{14}C 濃度とほぼ一致した値をとっている。1962年から1963年の間、Lingueの ^{14}C 濃度がチーク材より低い値を示すことに関しては、大気中の ^{14}C 濃度においても南緯18度より南緯41度のデータが低い値を示し、この間南半球においては低緯度における ^{14}C 濃度が中緯度においてより若干高いと考えられることから裏付けられる。

これらの結果から樹木樹幹内の ^{14}C 濃度は材形成時の大気中の ^{14}C 濃度を表し、 ^{14}C 濃度が増加し始めた1954年以降、大気中の ^{14}C 濃度と等しい緯度依存性を有することが明

らかとなった。すなわち、北半球中高緯度に成育した樹木樹幹内の ^{14}C 濃度は高く、緯度の低下とともに低い値となり、南緯7度以南に成育した樹木樹幹内の ^{14}C 濃度の経年変動には緯度による差異がないことがわかった。

これまで、大気中の ^{14}C 濃度は赤道付近では緯度による変動が大きく、南半球では緯度による差異がなくなるものと考えられたが²⁾、データがないため緯度による影響が消失するのが、どのくらいの緯度からなのか明らかではなかった。今回の研究により南緯7度以南では ^{14}C 濃度に緯度による影響が現れないことがわかった。

次に樹幹内の ^{14}C 濃度の最大値であるが、北半球中高緯度に成育した樹木に関してはFig. 1のように大気中の ^{14}C 濃度の季節変動が大きいことから、明確ではないが晩材部で測定した場合は1963年、早材部で測定した場合は1964年に現れるものと考えられる。南緯7度以南に成育した樹木については、チーク材、Lingue、そして大気中の ^{14}C 濃度から判断して1965年の6月頃現れると考えられる。このように、北半球中高緯度に成育した樹木と南半球に成育した樹木とでは、 ^{14}C 濃度の出現時期に1年から2年の差があることが明らかとなった。

3-5. 年輪を有しない樹木の材形成時期の推定

これまで年輪を有しない熱帯材などについては、肥大成長幅や材のある部位が形成された時期を決めることは困難であった。しかし、中村らは年輪を有しないセラヤ材について木部表面からの距離に対応した ^{14}C 濃度を測定し、ヒノキ材の ^{14}C 濃度を基に肥大成長幅を推定する方法を示した³⁾。

ここではそのデータに基づき次のように考察を加えた。樹幹内の ^{14}C 濃度が材形成時の大気中の ^{14}C 濃度と等しいことから、大気中の ^{14}C 濃度が増加し始めた1954年以降については、年輪を有しない材において ^{14}C 濃度を測定し、その材が伐採された地点の ^{14}C 濃度と対比させることにより、その材が形成された期間を推定できると考えられる。このセラヤ材は直径約90cmであり、 ^{14}C 濃度の最大値は木部表面から110mmの部位に現れた³⁾。セラヤ材が成育した北緯6度付近の大気中の ^{14}C 濃度は、Fig. 1の北緯9度から15度のデータよりやや低い値を示すものと考えられるため、 ^{14}C 濃度の最大値は1964年の後期と考えられる。よって、このセラヤ材においては、木部表面から110mmの部位が1964年の後期に形成されたものと推定できる。この結果、1964年以降の平均肥大成長幅は約5.6mm/yearを示した。また、大気中の ^{14}C 濃度から判断して、セラヤ材の ^{14}C 濃度は、1954年から1967年までの間はヒノキ材とチーク材の間にあり、1967年以降はヒノキ材とほぼ等しい値を示すと考えられることから、Fig. 6のように、 ^{14}C 濃度の最大値以外の部位についても、おおよその形成年代を推定できることが明らかとなった。

4. おわりに

これまでの研究により、さまざまな緯度に成育した樹木について、樹幹内の ^{14}C 濃度が材形成時の大気中の ^{14}C 濃度をほぼ正確に示すこと、核実験による影響が現れた1954年から緯度による差異が消失した1967年までの間、樹幹内の ^{14}C 濃度には大気中の ^{14}C 濃度と等しい緯度依存性があり、 ^{14}C 濃度が最大となる時期は緯度により異なることが明らかとなった。このため、年輪を有しない熱帯材において、樹幹内の ^{14}C 濃度を測定し、材形成時期や肥大成長幅を推定する際にも、測定する樹木が成育した緯度を考慮

に入れる必要がある。また、現状では ^{14}C 濃度が最大値を示す部位の形成時期以外はおおよその推定にすぎない。今後、更に正確な材形成時期を決定するためには赤道付近の ^{14}C 濃度データの蓄積と、更に精度の高い測定を行う必要があるだろう。

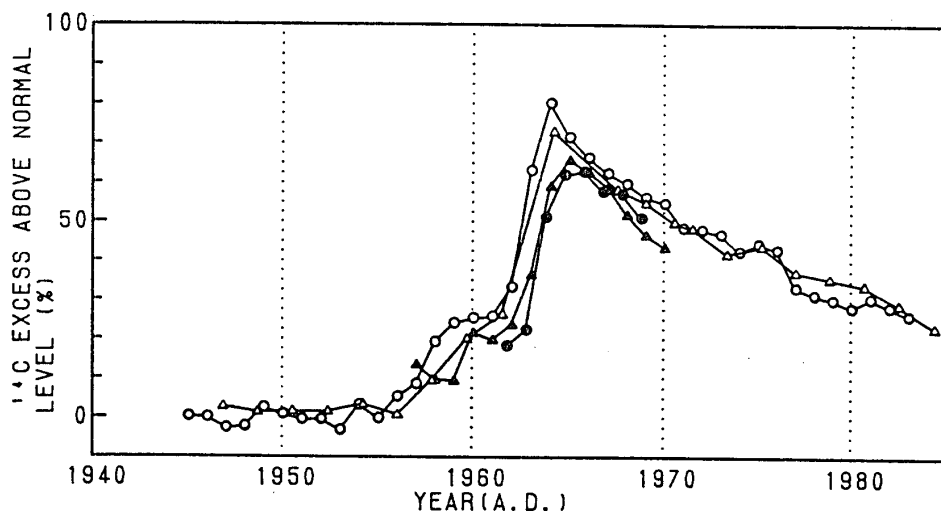


Fig. 6 $\delta^{14}\text{C}$ values in tree rings vs. ring years for a hinoki (35.6°N, 137.5°E, Nakamura et al., 1987) (○), a teak (7°S, 111°E) (▲), and a lingue (38°S, 72°W) (●). $\delta^{14}\text{C}$ values in tree sections vs. the presumptive years for a seraya (6°N, 118°E) (△).

参考文献

- 1) Nydal, R. & Lavseth, K., J. Geophys. Res., 88(1983)3621-3642.
- 2) Rafter, T.A., N.Z. J. Sci., 8(1965)472-493.
- 3) 中村俊夫・中井信之・木村雅也・大石昭二・服部芳明・木方洋二, 地球化学 21 (1987)7-12.
- 4) 中村俊夫ら, 天然放射能測定(天然レベル放射性C)用試料調整法, 名古屋大学 R I センター(1987)10.
- 5) 中村俊夫・中井信之・大石昭二, 放射線, 13(1986)65-82.
- 6) Nakai, N., Nakamura, T., Kimura, M., Sakase, T., Sato, S. and Sakase, A., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B5(1984)171-174.

Table 1 $\delta^{14}\text{C}$ values in annual rings of trees

Sample	Ring Year	$\delta^{14}\text{C}$ (‰)	Ring Year	$\delta^{14}\text{C}$ (‰)
Teak(No. 1) from Indonesia	1957	134 ± 12	1964	561 ± 13
	1958	97 ± 14	1965	641 ± 25
	1959	93 ± 12	1966	602 ± 16
	1960	215 ± 13	1967	571 ± 17
	1961	193 ± 15	1968	529 ± 16
	1962	210 ± 12	1969	466 ± 31
	1963	357 ± 12	1970	433 ± 39
Teak(No. 2) from Indonesia	1961	201 ± 18		
	1962	262 ± 11		
	1963	372 ± 12		
	1964	622 ± 16		
	1965	673 ± 17		
	1966	650 ± 14		
	1967	605 ± 14		
Lingue from Chile	1962	18 ± 17		
	1963	22 ± 12		
	1964	511 ± 12		
	1965	619 ± 20		
	1966	628 ± 15		
	1967	577 ± 20		
	1968	570 ± 21		
	1969	509 ± 17		

¹⁴C CONCENTRATION IN TREE STEMS

Yoji KIKATA*, Fumio MORISHITA*, Hitoshi YONENOBU*, Yoshiaki HATTORI*
*) School of Agriculture, Nagoya University

The rapid increase of atmospheric ¹⁴CO₂ was caused by the nuclear weapons tests since 1950. The correspond increase of ¹⁴C concentration was detectable in tree stems. Because the nuclear weapons tests were mainly performed at mid- and high-latitudes in the Northern Hemisphere, the atmospheric ¹⁴C concentrations in the Northern Hemisphere had latitudinal dependence between 1954–1967 (Nydal et al., 1983), but those in the Southern Hemisphere were independent of latitudes (Rafter, 1965).

Nakamura et al. measured the ¹⁴C concentrations in a Hinoki from Japan with annual rings and in a Seraya from Malaysia with no annual rings, and showed the process to presume the growth rate of the Seraya in accordance with the ¹⁴C concentrations in the Hinoki. In the Seraya with a diameter of 90 cm, the ¹⁴C concentration of the wood section at a distance of 110 mm from tangential surface of xylem showed the maximum value (Nakamura et al., 1987).

In this study the ¹⁴C concentrations in the tree stems grown in the Southern Hemisphere were shown. And the latitudinal dependence of the ¹⁴C concentrations in trees at various latitudes was discussed. Using excess ¹⁴C as a tracer, the process to presume the time when a section had been formed in a tree with no annual rings was investigated.

Two Teaks (*Tectona grandis*) from Indonesia and a Lingue (*Persea lingue*) from Chile were used as samples. The ¹⁴C concentrations in their annual rings were measured with the Tandetron Accelerator Mass Spectrometer, and the variations of their concentrations vs. years were investigated. The data by these measurements were compared with the ¹⁴C concentrations in a Hinoki from Japan (Nakamura et al., 1987) and in the atmosphere (Nydal et al., 1983, Rafter, 1965).

The results are as follows.

- (1) The ¹⁴C concentrations in the trees which had grown south of Lat. 7°S. were independent of latitude and remained constant.
- (2) The ¹⁴C concentration of a section in a tree on earth is nearly equal to that in the atmosphere at the latitude where the tree grows and at the time when the section is formed.
- (3) The time when the ¹⁴C concentration in trees had shown the maximum values was different to the latitudes where the trees had grown.
- (4) It seems that the latitude where a tree had grown should be taken into consideration when the process to presume the growth rate in a tree with no annual rings is used. On the basis of this point, in a Seraya, the section at a distance of 110 mm from tangential surface of xylem seems to have formed at the later term of 1964. The result showed the growth rate was about 5.6 mm/yr. after 1964.

口頭発表

- 1)服部芳明 (1986) 熱帯産材と水一樹幹内 ^{14}C 濃度分布を足掛りとして, 日本木材学会, 木材と水研究会シンポジウム要旨集, p.1.
- 2)服部芳明・木方洋二・中井信之・中村俊夫 (1986) 加速器質量分析によるセラヤ材の肥大生長量の推定. 第36回日本木材学会大会研究発表要旨集, p.134.
- 3)Y. Kikata・Y. Hattori・N. Nakai, and T. Nakamura (1987) Determination of the growth rate in the tropical tree trunk. IUFRO XVIII World Congress Report on the Technical meeting P5.01, p.1~4.

学会誌等

- 1)中村俊夫・中井信之・木村雅也・大石昭二・服部芳明・木方洋二(1987)樹木年輪(1945~1983)の ^{14}C 濃度変動. 地球化学, 21, p.7~12.

口頭発表

- 1) 森下二三夫・服部芳明・木方洋二・S.N. マルスム：樹木年輪の ^{14}C 濃度の緯度依存性. 第40回日本木材学会大会, つくば, 1990, April.
- 2) Yoji Kikata: Determination of the growth rate in the tropical tree trunk. 18th World Congress of Int. Union of Forest Research Organization, 1986.