

# 樹木樹幹内の<sup>14</sup>C濃度の緯度依存性

木方 洋二\*, 森下 二三夫\*, 米延 仁志\*, 戸田 克典\*, 服部 芳明\*\*

\*名古屋大学農学部林産学科木材物理学講座

\*\*現 鹿児島大学農学部

## 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<sup>14</sup>C O<sub>2</sub>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<sup>14</sup>C濃度は急激に増加した。<sup>1)2)</sup> 図1の様に大気中の<sup>14</sup>C濃度は核実験が主として北半球中高緯度で行われたことから、北半球では緯度依存性を有し、急増はじめてから、収束にいたるまでの間、中高緯度で高く、緯度の低下と共に低い値を示し、南半球では緯度による変動はほとんどみられないことが明らかとなっている。

我々が以前行った日本産ヒノキ樹幹内<sup>14</sup>C濃度の経年変動においても<sup>3)</sup>1954年以降の急増が認められた。また年輪を有しないマレーシア産ヤラヤ材において、木部表面から1 cm毎に<sup>14</sup>C濃度を測定した結果においても<sup>14</sup>C濃度の急増がみられ、その最大値はヒノキ樹幹内のそれより低いことが明らかとなった。

以上の結果より樹木樹幹内<sup>14</sup>C濃度において成育場所に依じた大気中の<sup>14</sup>C濃度と同様な緯度依存性があるものと考えられた。

本研究ではまず同じ林分内で伐採された同種の樹木がとりこんだ<sup>14</sup>C量に個体差があるかどうかを調べた。また年輪構造の複雑な材について、<sup>14</sup>C濃度との関連で偽年輪等を考えた年輪構造の分析を行った。

そしてこれまで測定されていない南半球の樹木について<sup>14</sup>C濃度を測定し、ヒノキ樹幹内の<sup>14</sup>C濃度との比較、大気中の<sup>14</sup>C濃度との比較により、樹木樹幹内の<sup>14</sup>C濃度の緯度依存性について考察した。

## 2. 試料

この研究全体を通じ測定に用いた樹種および、その成育地等は次の表の通りである。

Table 1 Materials

Common name	Scientific name	Latitude	Longitude
Japanese Cypress (Hinoki)	<u>Chamaecyparis obtusa</u> Endl.	35.6° N	137.5° E
Merkusii pine	<u>Pinus merkusii</u> Jungh. et De Vr.	11° N	107° E
Teak	<u>Tectona grandis</u> L.f.	7° S	111° E
Parana Pine	<u>Arucaria angustifolia</u> O.Kuntze	27° S	50° W
Lingue	<u>Persea lingue</u> Nees	38.4° S	71.5° W
Chhoeuteal	<u>Dipterocarpus</u> Sp.	12° N	107° E

### 3. 年輪解析の方法

年輪の年代を決定する際、偽年輪、不連続年輪等不齊な年輪が存在する場合、半径にそった一方向のみで年輪を数えると誤りが生じ易い。本研究では年輪年代と $^{14}\text{C}$ 濃度との関連を調べることを目的としているので年輪年代のずれが生じることはさげなければならない。樹幹断面円板の全周にわたって、数えている年輪が途中で不連続になっていないことを確かめながら年輪数を数えた。即ち樹幹円板内で均等に8測線を選び、これらの各測線での年輪年代が互いに一致することに留意しながら、年輪数を確認した。そして最外年輪の年代から遡って年輪年代を決定した。

一般に成熟した樹木の辺材部の年輪幅は狭いものであり、本研究でも、年輪数の確認は供試木をXYステージの上に置き、デジタルマイクロメーターで送りながら $\times 80$ 倍の実体顕微鏡下で年輪を数え、同時に年輪幅の測定も行った。また同時に1~5の半径方向については通常の手法により、ミクロトームに切片を作り、 $\times 35\sim\times 50$ 倍の連続した顕微鏡写真を得て、年輪を数え年輪年代決定の一助とした。

### 4. タンデトロン加速器質量計による $^{14}\text{C}$ 濃度測定

タンデトロン加速器質量計による $^{14}\text{C}$ 濃度測定資料採取の1例を図2に示す。図中の連続した2枚の樹幹円板の中、円板2は実体顕微鏡、光学顕微鏡による年輪年代の決定に用いた。円板1から採取したブロックをさらに2分したa-1, a-2, e-1, e-2をタンデトロン加速器質量分析法による $^{14}\text{C}$ 濃度測定に用いた。試験片ブロックを採取するのに際し、ブロックの木口面の年輪界が直線になる部分を選んだため図の様な複雑な採材となった。年輪界が直線となるブロックからカッターナイフを用い、また年輪幅の狭いものではミクロトームを用い、各年輪の外周に沿って年輪幅の1/4程度を約100mg削りとった。

以下の $^{14}\text{C}$ 測定用試料の調整は、名古屋大学年代測定資料研究センター第一実験室における天然放射能測定用試料調整法にのっとって行われた。

$^{14}\text{C}$ 濃度測定原理については引用文献<sup>4)</sup>を参照されたい。

## 5. 結果と考察

### 5. 1 年輪構造の分析

#### 5. 1. 1 メルクシーマツ

晩材部と早材部の細胞の大きさと細胞壁の厚さの変化が顕著であり、晩材から早材への移行が明確であることから年輪界は明確であった。しかし写真1にみられる様な偽年輪が認められた。偽年輪は成長輪が断続しており、不連続であること、晩材から早材への移行に際し、細胞の大きさと細胞壁の厚さの変化が正常材に比し緩であることにより判定した。

#### 5. 1. 2 チーク

明らかな環孔材であり、道管が年輪界に沿って並び、晩材から早材への移行に際し、細胞壁の厚さの変化が顕著であることから年輪界は明確であった。しかし辺材部で年

輪幅が極めて狭いぬか目材をなす部分があり、年輪界の判定が困難な部位もみられた。

#### 5. 1. 3 アローカリア

年輪界は明確で、年輪幅もほぼ一定であった。写真3でみられる如き偽年輪がみられた。放射方向への移行が緩やかであり、また年輪が断続的であることから偽年輪と判定した。

同時に入手した成育地の気象データと対比してしらべたところ、偽年輪はその年の気温が平年値に比べ高く、降水量が異常に多い月に形成された場合と、気温が異常に低く、降水量が低かった時期と一致して形成された場合とがみられた。異常気象と偽年輪の形成の時期とに一致がみられた。すなわち1963年1月ごろ形成の偽年輪と気象データを対応させたところ、その年の気温は全体的に高めであり、降水量は異常に高い月に偽年輪が形成されていることが知られた。また1979年3月ごろの形成の偽年輪と気象データとの対応で、その年の気温は全体的にやや低めであり、降水量は1月から3月にかけて異常に低くなっていた。この異常気象の発生時期とタンデトロンを用い決定された偽年輪形成の時期との一致からも、樹木樹幹内の年輪形成時期決定の正確さが裏付けされた。

#### 5. 1. 4 リンゲ

年輪幅は1mm程度と狭く、散孔材であったが、晩材から早材への移行する際の細胞の大きさと細胞壁の厚さの変化が顕著であり年輪界は明確であった。また偽年輪は認められなかった。

#### 5. 1. 5 チョウテアール

チョウテアールは年輪を有しない熱帯広葉樹である。この試料の測定対象期間における成長速度は極めて遅く、 $^{14}\text{C}$ 濃度の増加部分は木部表面から5mm以内であった。この結果この間の平均肥大成長幅は0.22mm/年と推定された。何らかの影響による成長の抑制があったものと考えられる。

#### 5. 1. 6 ヒノキ、セラヤ

ヒノキ、セラヤについては前報<sup>3)</sup>を参照されたい。

### 5. 2 成長期の推定

#### 5. 2. 1 メルクシーマツ

成育地はサバンナ気候に属し、一年を通じ気温はほぼ一定であることから、メルクシーマツの休眠に入る要因として降水量を考え、メルクシーマツの成長期が雨期の始めから乾期の始まるまでと考えた。雨期は5月から11月であり、乾期が12月～4月頃と推定される。また顕微鏡的観察において最外年輪において、伐採され、成長が止まったと考えられる1989年9月時点で晩材部が認められなかったことより、 $^{14}\text{C}$ 濃度測定に用いた部位の形成期は5月～12月の間と推定した。

#### 5. 2. 2 チーク

$^{14}\text{C}$ 濃度測定用試料として、各年輪の外周に沿って、半径方向にとった年輪幅の1/4を用いた。チークの成長期が12月から7月と推定されたことからこの試料部位の

形成時期は6月～7月頃と推定された。

#### 5. 2. 3 アローカリア

気象データによると月毎の降水量に大きな変動はなく、9月から2月にかけてやや多い程度である。気温は10℃から20℃まで変動する。アローカリアの成長開始期を15℃、休眠開始期を13℃と考え、成長期を10月から5月までと推定した。<sup>14</sup>C濃度測定部位の形成時期を11月頃と推定した。

#### 5. 2. 4 リンゲ

リンゲの成長期が10月～4月頃と推定されることより、試料とした部位の形成時期を3月～4月頃と推定した。

### 5. 3 樹木のとりこむ<sup>14</sup>C量の個体差

チーク樹幹内の<sup>14</sup>C濃度変動を図3に示す。ヒノキ樹幹内の<sup>14</sup>C濃度変動と、メルクシーマツの<sup>14</sup>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<sup>14</sup>C濃度は、測定に用いた部位の形成時期と応じて各年の6月にあたる座標に位置させた。ヒノキ材と比較してチーク材の<sup>14</sup>C濃度は低い値を示した。最大値の出現時期はヒノキ材が1964年であるのに対し、南緯7°に成育するチーク材ではその出現は1965年となり、1年の差があることが知られた。又最大値はヒノキ、メルクシーマツ、チークの順で低くなっており、北緯35.6度、北緯7度、南緯7度とそれらの成育場所が南下するにつれて低い値を示した。

このことから1954年以降樹木樹幹内の<sup>14</sup>C濃度にも大気中の<sup>14</sup>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た。

樹木のとりこむ<sup>14</sup>C量に個体差があるかどうかを知るために、同一林分内で伐採された2本のチーク樹幹内の<sup>14</sup>C濃度を測定した。結果を図4に示す。2本のチーク材の<sup>14</sup>C濃度の差の平均は約3%である。両者の<sup>14</sup>C濃度の最大値は共に1966年に現われ経年変動の形もほぼ等しいといえる。両者の<sup>14</sup>C濃度の相関を調べたところ、相関係数は0.976となり、非常に高い相関を示した。図5に示す。同じ林分内に成育したチークにおける<sup>14</sup>C濃度の差はマイクローム切片作成時の切り出し部位の成長期の微妙な変動による等の誤差であるものと思われる。

また北緯11度に生育したチョウテアールが成長が極めて悪いにもかかわらず、<sup>14</sup>C濃度の最大値はチーク、メルクシーマツに近い値を示したことも樹木は成育した緯度における材形成期の大気中の<sup>14</sup>C濃度を正確に示したものとなることが知られた。チョウテアール<sup>14</sup>C濃度比の最大値が1.67393であり、メルクシーマツの1.71581、チークの1.69369に比し低い値を示したのは、チョウテアールの成長が極めて悪く、<sup>14</sup>C測定試料の切り出しが困難であり、材形成年数にして数年分を含んだものとなってしまっており、平均値として低い値を示したものであると思われる。

### 5. 4 大気中の<sup>14</sup>C濃度と材木のとりこむ<sup>14</sup>Cの量

南半球で成育したアローカリア、リング材中の $^{14}\text{C}$ 濃度変動を図6、7に示す。夫々南半球大気中で測定された $^{14}\text{C}$ 濃度変動と対応させて図示した。

日本産のヒノキからチリー産のリングにいたるまで行われた全測定の結果が夫々の成育地における大気中の $^{14}\text{C}$ の最大濃度比值とよく一致し、さらに前後数十年にわたる $^{14}\text{C}$ 濃度変動値もよく一致したことより、樹木の $^{14}\text{C}$ のとりこみが大気中の $^{14}\text{C}$ 濃度変動を正確によく対応した値を示すものであることが知られた。以上の結果をまとめて図8に示す。

## 6. 結論

6. 1 さまざまな緯度に成育した樹木について、樹幹内の $^{14}\text{C}$ 濃度は樹木が成育した緯度における材形成時の大気中の $^{14}\text{C}$ 濃度をほぼ正確に示している。樹木による個体差はみられないものと思われる。

6. 2 核実験によって $^{14}\text{C}$ 濃度が増加し始めた1954年頃から緯度による差異が消失した1967年頃までの間、樹幹内の $^{14}\text{C}$ 濃度変動には大気中の $^{14}\text{C}$ 濃度変動と等しい緯度依存性がある。

6. 3 南緯7度以南に成育した樹木樹幹内の $^{14}\text{C}$ 濃度変動は緯度によらずほぼ一定である。

6. 4 樹幹内の $^{14}\text{C}$ 濃度が最大になる時期は樹木が成育した緯度により異なり、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1年から2年の差があったことが明らかとなった。

## 謝辞

インドネシア・ガジャマダ大学のスリ・ヌグロホ・マルスム博士にはチーク材、ブラジル・パラナ大学のルデイ・ザイツ博士にはアローカリア材、チリー林業試験場のマルチン・パホン・ヒンリツシェ氏にはリング材、株式会社栄伸取締役 村岡善四郎氏にはメルクシーマツとチョウテアール材の入手に際し御尽力を頂いた。感謝の意を表する次第である。

## 参考文献

- 1) Nydal, R.;Loevseth, K. : J. Geophys. Res., 84, 3621-3642 (1983).
- 2) Rafter, T. A. : N. Z. J. Sci., 84,72-493 (1965).
- 3) Nakamura, T.;Nakai, N.;Kimura, M.;Ohishi, S.;Hattori, Y.;Kikata, Y. : Geochemistry, 21, 7-12 (1987).
- 4) Nakai, N.;Nakamura, T. : Bulletin of the Nagoya University Furukawa Museum, 5, 139-149 (1989).

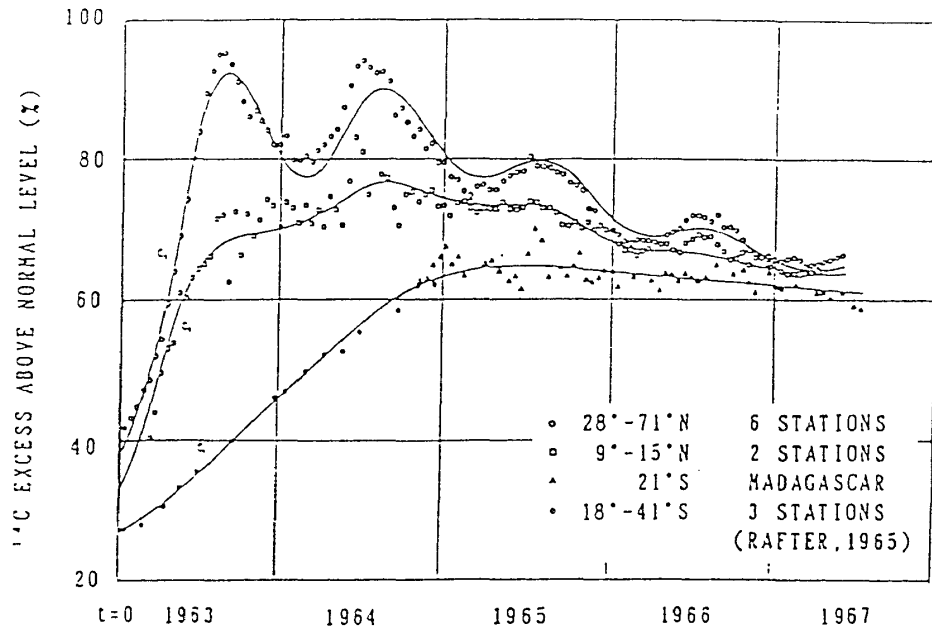


Fig.1  $\Delta^{14}\text{C}$  values in the troposphere at various latitudes 1953-1967 [Nydal, 1968].

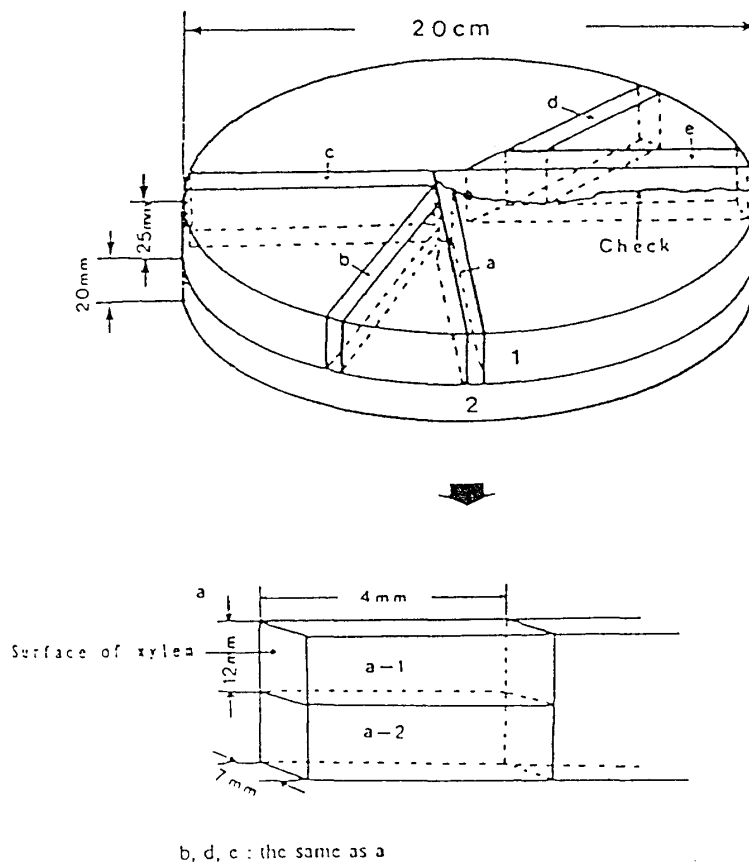


Fig.2 Sampling method for a Lingue.

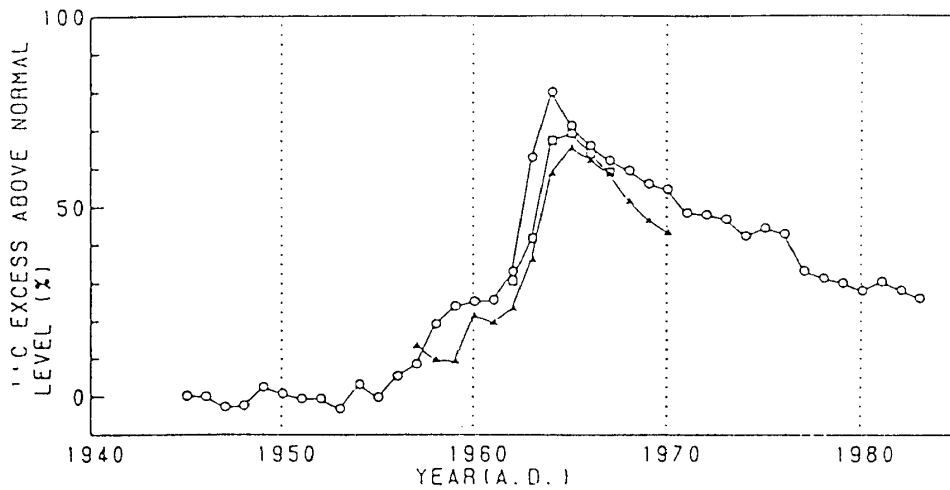


Fig.3  $\delta^{14}\text{C}$  values in tree stems vs. years for a Hinoki (35.6°N, 137.5°E, Nakamura et al., 1987)(○), a Teak (7°S, 111°E)(▲), and a Merkus Pine(11°N, 107°E)(□).

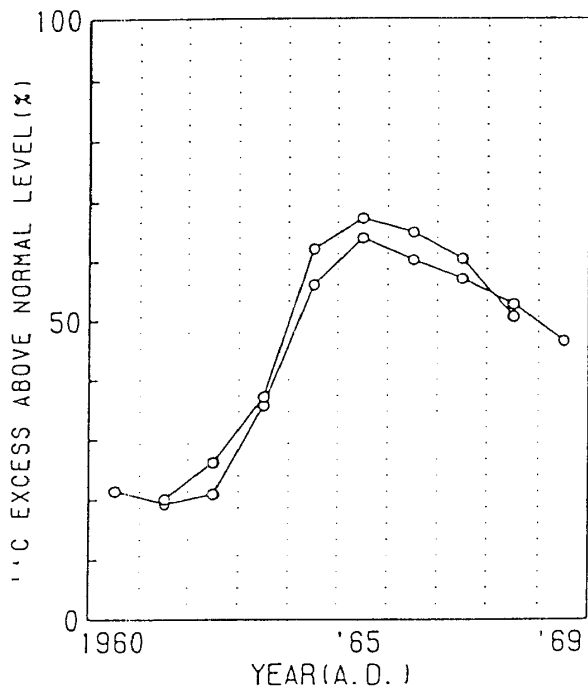


Fig.4  $\delta^{14}\text{C}$  values in two Teaks cut down in the same forest.

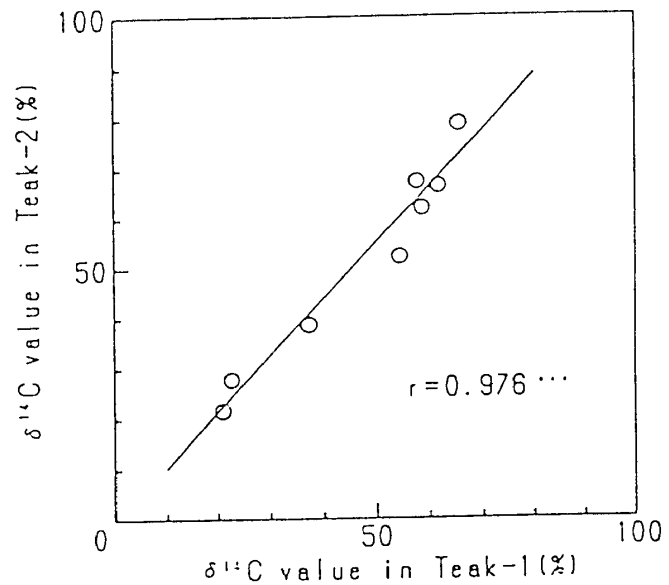


Fig.5 Relationships of  $\delta^{14}\text{C}$  values between two Teaks cut down in the same forest.

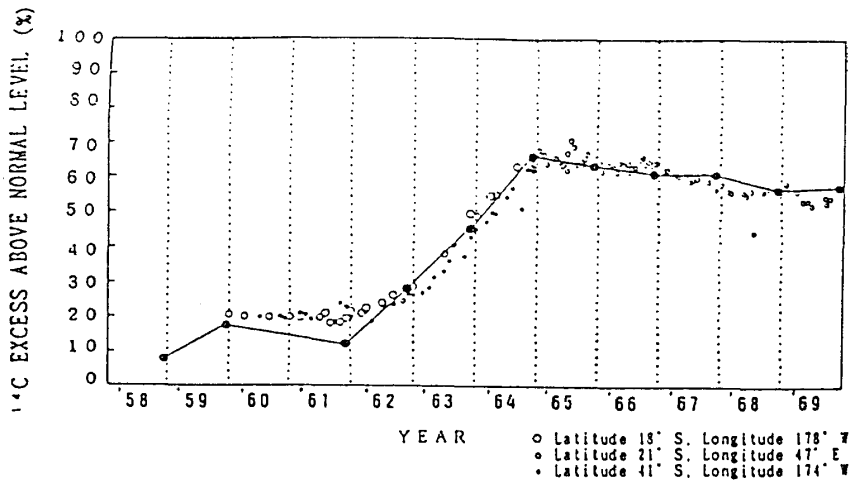


Fig.6 Carbon 14 variation in an Araucaria and in the troposphere at various latitudes

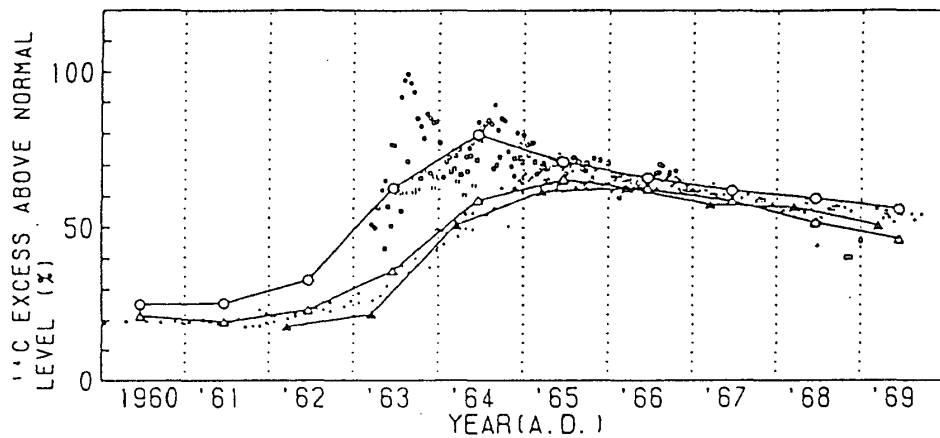


Fig.7  $\delta^{14}\text{C}$  values in a Hinoki (35.6°N,137.5°E Nakamura et al.,1987)(-○-), a Teak(7°S, 111°E)(-◊-), and a Linguc (38°4'S,71°54'W)(-▲-) compared with atmospheric  $\Delta^{14}\text{C}$  values measured in Northern Spain(42°53'N, 8°26'W)(○), Ethiopia(8°40'N, 38°58'E) (◻), and Madagascar(21°27'S,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

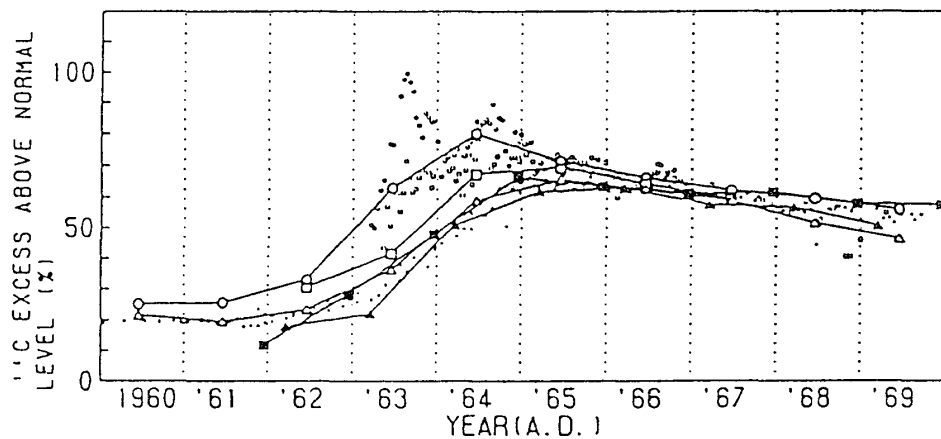


Fig.8  $^{14}\text{C}$  values in a Hinoki (35.6°N,137.5°E Nakamura et al.,1987)(-○-), a Merkusii Pine(11°N, 107°E)(-◻-), a Teak(7°S, 111°E)(-◊-), a Araucaria(27°S, 50°W)(-■-), and a Linguc (38°4'S,71°54'W)(-▲-) compared with atmospheric  $^{14}\text{C}$  values measured in Northern Spain (42°53'N, 8°26'W)(○), Ethiopia(8°40'N, 38°58'E)(◻), and Madagascar(21°27'S, 47°5'E)(△) (Nydal et al., 1983), Fiji(18°S, 178°W)(◊) and New Zealand(41°18'S, 174°14'W)(◄) (Rafter,1965).



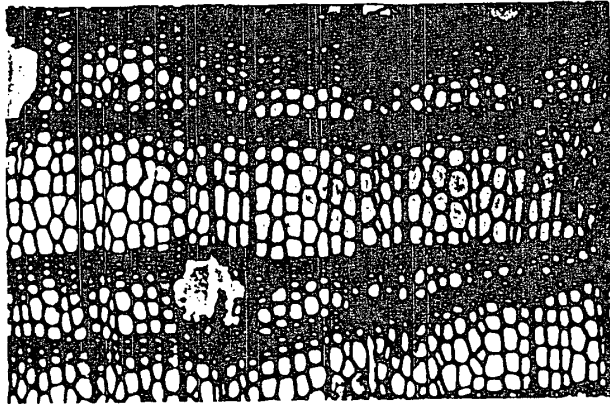


Photo.1  
 Cross section of a  
 Merkusii Pine.  
 False annual ring. X40.

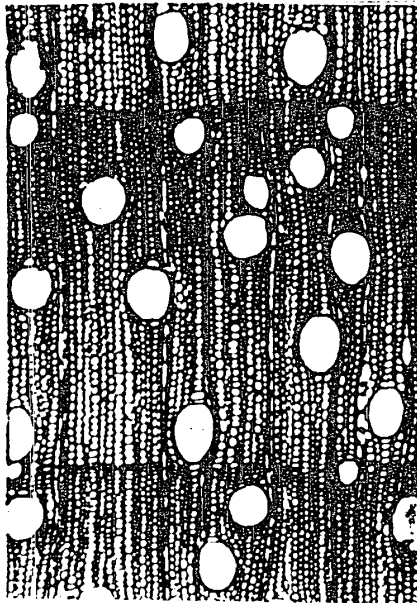


Photo.2 Cross section  
 of a Lingue. X40.

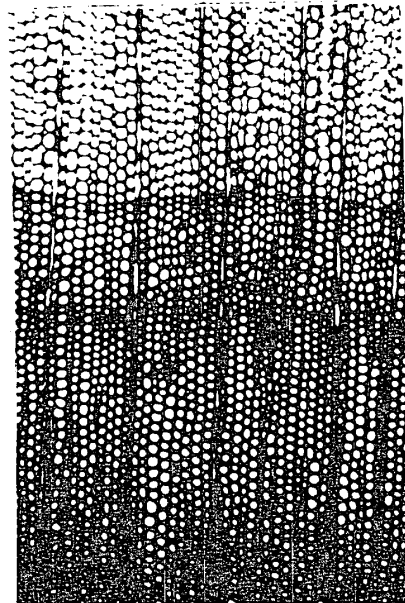


Photo. 3 Cross section of a  
 Parana Pine.False annual ring.

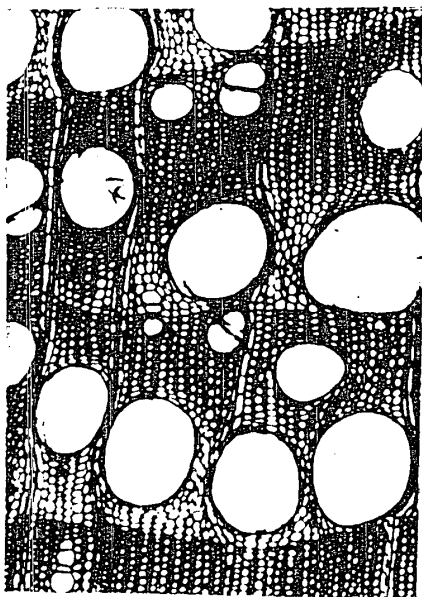


Photo.4 Cross section  
 of a Teak. X40.

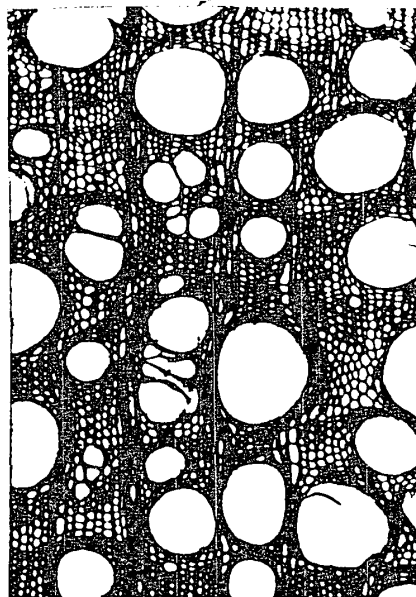


Photo.5 Cross section of a  
 Teak. Narrow-ring. X40.

## $^{14}\text{C}$ Concentration in Tree Stems

Yoji Kikata , Hitoshi Yonenobu , Fumio Morishita  
Katsunori Toda , Yoshiaki Hattori

School of Agriculture, Nagoya University, Nagoya  
464-01

School of Agriculture, Kagoshima University,  
Kagoshima 890

In the last report, a Japanese Cypress in Central Japan and a Seraya in Sabah-Malaysia were analyzed for  $^{14}\text{C}$  concentration of annual rings (AD 1945-1983). Each of annual rings for the Japanese Cypress was divided radially into 3-4 consecutive sections. The  $^{14}\text{C}$  concentrations,  $\delta^{14}\text{C}$ , of the sections were measured with a Tandetron Accelerator Mass Spectrometer in Nagoya University, compared with those of atmospheric  $\text{CO}_2$ . The good agreement was found between them. This suggested evidently that the  $\delta^{14}\text{C}$  values of the tree rings could be used to estimate the  $\delta^{14}\text{C}$  values of atmospheric  $^{14}\text{CO}_2$  in the past.  $\delta^{14}\text{C}$  variation of annual rings for the Japanese Cypress were found to be closely related with the history of executing the nuclear weapon tests in the atmosphere by considering that the residence time was about 2 years for transforming  $\text{CO}_2$  from stratosphere to troposphere. By using a variation pattern of  $\delta^{14}\text{C}$  common to Japanese Cypress and Seraya, the average growth rate of the Seraya, that has no annual rings, was estimated to be 5.5 mm/year.

And a latitude dependence of the  $\delta^{14}\text{C}$  variation was found for annual rings of the trees (6°N-42°N).

This phenomena seemed to be closely related with the mechanism of global mixing for bomb-produced  $^{14}\text{CO}_2$  in the atmosphere.

In this report the concentrations of  $^{14}\text{C}$  in annual rings of tree stems growing in the southern hemisphere were measured with the Tandetron Accelerator Mass Spectrometer.

The rapid increase in atmospheric  $^{14}\text{CO}_2$  was caused by the nuclear weapon tests since 1950. The same increase of  $^{14}\text{C}$  concentration was found in tree stems. Because the nuclear weapon tests were mainly performed at mid- and high latitude in northern hemisphere, the atmospheric  $^{14}\text{C}$  concentration has latitude dependence between 1954-1967, but that in the southern hemisphere was independent of latitude.

Our study showed the  $^{14}\text{C}$  concentration in the stems grown in the southern hemisphere. And we discussed latitude dependence of the  $^{14}\text{C}$  concentration in trees on the earth. Using excess  $^{14}\text{C}$  as a tracer and the process to presume the time when a section had formed in a tree.

1. The  $^{14}\text{C}$  concentration in the trees which had grown south of latitude 7°S were independent of latitude and remained constant.
2. The  $^{14}\text{C}$  concentration of a section in a tree on the earth is necessary equal to that in the atmosphere at the latitude where the tree had grown and at the time when the section is formed. The  $\delta^{14}\text{C}$  values of the tree rings can be used to estimate those of atmospheric  $^{14}\text{CO}_2$ . There are no individual variations in  $^{14}\text{C}$  Concentration.
3. The time when the  $^{14}\text{C}$  concentration in a tree showed the maximum value differed with the latitude where the tree had grown.
4. By considering the  $\delta^{14}\text{C}$  variations of annual rings of Japanese Cypress, Merkusii pine, Teak, Parana pine, and Lingue, the residence time was about 1-2 years for transforming  $\text{CO}_2$  from northern hemisphere to southern hemisphere.
5. This phenomena seemed to be closely related with the mechanism of global mixing for bomb-produced  $^{14}\text{CO}_2$  in the the troposphere. There are two big circulations in the troposphere on the earth. One goes from the equator to the north, another from the equator to the south. This mechanism of global mixing for bomb-produced  $^{14}\text{CO}_2$  in the atmosphere causes the time difference of 1-2 years in the  $^{14}\text{C}$  concentrations in the southern hemisphere.

## 口頭発表

- 1) Kikata, T., Hattori, Y., Nakai, N., and Nakamura, T. (1986) Determination of the growth rate in the tropical tree trunk. International Union of Forest Research Organization XVIII World Congress.
- 2) Kikata, Y. (1991) Variations in  $^{14}\text{C}$  concentrations of tree rings. International Union of Forest Research Organization Xth World Forestry Congress.
- 3) 木方洋二 (1991) 樹木幹片中の $^{14}\text{C}$ 変動. 名古屋大学シンポジウム [加速器質量分析と炭素安定同位体の学際的応用]. 於名古屋大学年代測定資料研究センター, 11月27 - 28日.

## 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 $^{14}\text{C}$ 濃度変動. 地球化学, 21, p. 7-12.
- 2) Kikata, Y., Yonenobu, H., Morishita, F., Toda, K., and Hattori, Y. (1991)  $^{14}\text{C}$  concentration in tree stems. Jour. of Japan Wood Research Society (in press).
- 3) 木方洋二・米延仁志・森下二三夫・服部芳明・スリ ヌグロホ マルスム (1992) 樹木樹幹内の濃度 (その1). 日本木材学会誌 (投稿中).
- 4) 木方洋二・米延仁志・森下二三夫・戸田克典・服部芳明 (1992) 樹木樹幹内の $^{14}\text{C}$ 濃度 (その2). 日本木材学会誌 (投稿中).