

草食動物化石を用いたAMS¹⁴C年代測定とその¹³C/¹²C、
¹⁸O/¹⁶Oによる古環境解析の可能性

中井信之 *
吉田尚弘 **
森 育子 ***
中村俊夫 ****
金田英樹 **

- *) 名古屋大学理学部地球科学科 464-01名古屋市千種区不老町
現在：地球科学研究所 468名古屋市天白区天白町植田
字源右エ門新田 22-19
- **) 富山大学理学部地球科学科 930富山市五福 3190
- ***) 名古屋大学理学部地球科学科 464-01名古屋市千種区不老町
現在：名古屋大学太陽地球環境研究所 464-01名古屋市千種区不老町
- ****) 名古屋大学年代測定資料研究センター 464-01名古屋市千種区不老町

1. はじめに

古環境の変遷を追跡するにも色々あり、気候変化（気温変化）とそれに関連した海面変化（海水準変動）だけを取り上げても、その研究にはさまざまな手法がある。その中でも、安定同位体を測定して、残された過去の記録を読み取る方法がある。

人間を含め哺乳動物の骨・歯・角に取り込まれるコラーゲン〔硬タンパク質〕の安定炭素同位体比（¹³C/¹²C）は、摂取した食資源の同位体比を反映することが知られている。したがって、哺乳動物の骨・歯・角化石に含まれているコラーゲンには生存時の食物の¹³C/¹²C比の記録が残されている（DeNiro and Epstein, 1980; van der Merwe and Vogel, 1978; Johansen et al., 1986）。このことから、まずコラーゲンの¹⁴Cから年代測定が可能であることに気付く。そして、哺乳動物の中でも草食動物を選ぶと、同じコラーゲンの¹³Cの測定から食資源がC3植物であったかC4植物であったか、また生存時の環境（相対的な気温）が推測されそうである。相対的な気温の推測が期待できる理由は、食資源である植物の光合成時の温度による炭素同位体の同位体効果（Park and Epstein, 1960; Sackett et al., 1965）があるからである。

さらに、Longinelli(1984)は現生の人や動物について、その骨を構成している主成分のリン酸カルシウム〔Ca₃(PO₄)₂〕の安定酸素同位体比（¹⁸O/¹⁶O）は、飲料水の同位体比と密接な関係をもっていることを見いだした。このことは、草食動物の化石についても骨・歯・角のリン酸カルシウムの¹⁸O濃度を計ることにより、生存時に飲んだ水の同位体組成を知る手がかりになりそうである。この飲料となる地表水の酸素同位体比（水素同位体比D/Hも同様）は、日本列島のような海に囲まれた島国的な環境では、①気温と密接な関係を持っている（Dansgaard, 1964）か、または②地表

水や植物中の水の蒸発効果を考えると、大気の湿度と深い関係を持つ可能性もある。
 以上の可能性をまとめると、図1のようになる。本報では、これらの可能性を検討する目的で、完新世の遺跡から出土したシカ化石について研究を行なった。

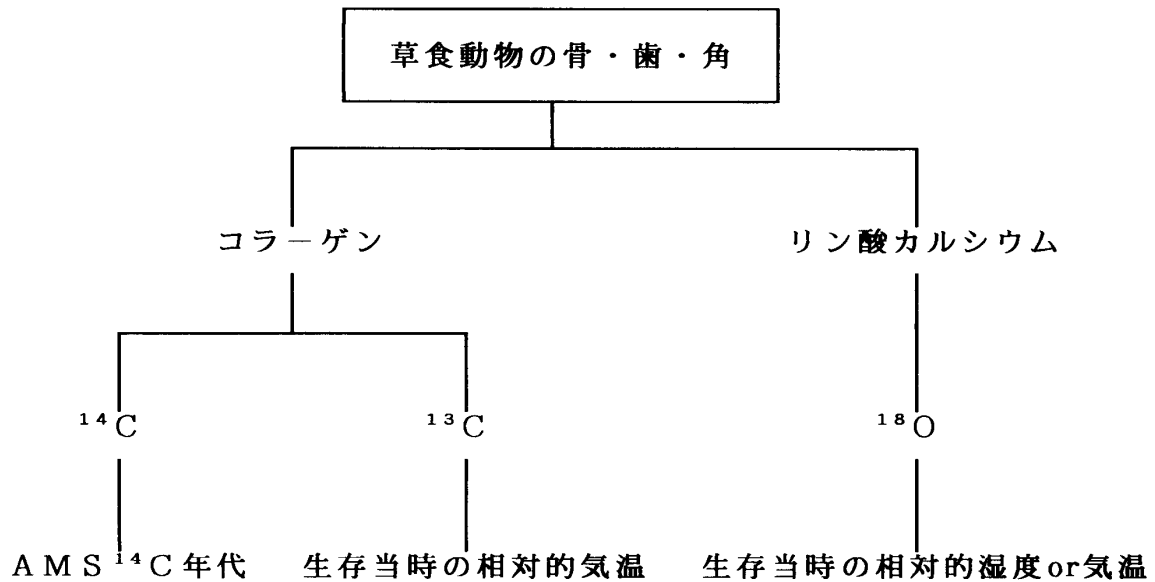


図1. 哺乳動物の骨・歯・角化石から過去を探る

2. 研究試料

本研究に用いた試料は、関東地方の千葉県及び茨城県の遺跡から出土したニホンシカの骨（表1）と愛知県の遺跡から出土したイノシシの歯・顎骨（表2）である。

表1. 関東地方のニホンシカ試料

試料No.	採集地	遺跡名	試料の部位
II-1	土浦市	上高津貝塚	左橈骨 (Left radius)
NOS-8	野田市	大崎貝塚	中足骨 (Metatarsus)
B-77	岩槻市	真福寺遺跡	中足骨 (Metatarsus)
KS-2	千葉市	木戸作貝塚	?
B-15	千葉市	築地台貝塚	左大腿骨 (Left femur)
B-28	千葉市	築地台貝塚	右中足骨 (Right metatarsus)
B-200	市川市	北台貝塚	中足骨 (Metatarsus)

表 2. 愛知県の試料

試料No.	採取地名	遺跡名	動物名	試料部位	時代
4 D	南知多町	清水ノ上貝塚	イノシシ	歯	縄文前期初頭
6 D	〃	〃	イノシシ	歯	縄文中期初頭
8 D	常滑市	石瀬貝塚	イノシシ	歯	縄文中期後葉
9 D	南知多町	咲畑貝塚	シカ	歯	〃
12 D	西尾市	八王子貝塚	シカ	歯	縄文後期中葉
15 D	渥美町	伊川津貝塚	シカ	下顎	縄文晩期前葉
16 D	〃	〃	シカ	下顎	〃
20 D	清洲町	朝日遺跡	シカ	下顎	弥生前期
21 D	〃	〃	シカ	下顎	〃
24 D A	〃	〃	シカ	歯	弥生中期
24 D B	〃	〃	シカ	下顎	〃
25 D	〃	〃	シカ	下顎	〃
27 D	名古屋市	大曲輪遺跡	シカ	歯	縄文前期初頭
28 D	〃	〃	シカ	歯	〃

関東地方の遺跡試料はお茶の水女子大学生生活科学部の松浦秀治教授、愛知県の遺跡試料は愛知県埋蔵文化財センターの森 勇一氏・宮腰健司氏のご厚意により提供された。

3. 実験法

本研究では、表 1、2 に示したシカやイノシシ化石骨・歯を用い、抽出コラーゲンによる加速器¹⁴C年代測定と安定炭素同位体比 (¹³C/¹²C) の測定、リン酸カルシウムの安定酸素同位体比 (¹⁸O/¹⁶O) の測定を行なった。

3-1. コラーゲンの抽出とその変質の検証

骨試料 1~5g を用い、有田ら (1990)、中井ら (1991) の方法によりコラーゲンを抽出した。

抽出したコラーゲンは、地層中に埋没していた間の保存の状態によって、変質を受け正確な同位体の記録を残していない場合がある。そして、¹⁴C年代値に大きな狂いを生じることがある (有田ら, 1990; 沢田ら, 1992)。したがって、試料中のコラーゲン含有量が極端に減少していないか、また抽出したコラーゲンがタンパク質としての性質を保持しているか否かを検証する必要がある。コラーゲンのようにグリシン (

glycine) の多いタンパク質の C/N 比は 3.2 ± 0.5 といわれている (Hare and von E-ndt, 1990)。そこで、著者らの詳細な検討の結果、次の条件に合致しないものは同位体分析には用いないこととした。すなわち、

(1) 試料中のコラーゲン含有量が、0.7% 以上であること。

(2) 抽出したコラーゲンの C/N 比が 4 以下であること。

3-2. AMS- ^{14}C 年代測定

抽出・精製したコラーゲンを高真空封管中で炭化 (有田ら, 1990) し、炭化試料の 1~5mg に銀粉を混合した後、Hand press を用いて錠剤を作った。名古屋大学年代測定資料研究センター加速器実験室のタンデトロン加速器質量分析計を用いて、 ^{14}C を測定し、年代を算出した (Nakamura et al., 1985)。

3-3. 安定炭素・酸素同位体比の測定

(a) コラーゲンの $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比

抽出・精製し、AMS ^{14}C 年代測定したと同じコラーゲンをを用い、燃焼により CO_2 を調製・精製した後、名古屋大学理学部地球科学科の複式コレクター質量分析計により $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比を測定した。

(b) リン酸カルシウムの $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比の測定

骨・歯の主成分であるリン酸カルシウムは、試料を超音波洗浄により不純物を取り除いた後、リン酸ピスマスに変え、精製した。このリン酸ピスマスを真空中で五フッカ臭素 (BrF_5) と反応させ、 O_2 ガスにした。生成した O_2 ガスを高温で元素状炭素と反応させて、最終的に CO_2 とし、富山大学理学部地球科学科のトリプルコレクター質量分析計により $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ を測定した。

(c) 安定同位体比測定値の表現と標準物質

安定同位体比の測定結果は、世界共通の標準試料の同位体比からの千分偏差、 δ 値 (%) で表現する。すなわち、

$$\delta^{13}\text{C} \text{ 又は } \delta^{18}\text{O} = \frac{(R_x) - (R_o)}{(R_o)} \times 1,000 \quad (\%) \text{ ---(1)}$$

の式で表され、 R_x と R_o は試料と標準試料それぞれの $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 及び $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ である。ここで、標準物質としては、

炭素同位体の標準：白亜紀の箭石 (CaCO_3) の炭素 (PDB)

$$^{13}\text{C}/^{12}\text{C} = 0.0112372$$

酸素同位体の標準：標準海水の酸素 (SMOW)

$$^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = 0.0019934$$

と決められており、本研究でもこれらを用いた。また、これら安定同位体比の測定誤差は $\pm 0.05\%$ である。

4. 結果

関東地方、中日本愛知県の遺跡から出土した哺乳動物の歯・骨から得られた結果は、表 3・表 5 に示した。

表3. 関東地方遺跡から出土したニホンシカのコラーゲンの含有量、C/N比、 $\delta^{13}\text{C}$ 及びAMS ^{14}C 年代

試料 No.	出土場所	抽出 Collagen			
		含有量 (%)	C/N比 (原子比)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰, PDB)	AMS ^{14}C 年代 (Yr. BP)
II-1	土浦市上高津貝塚	3.4	2.98	-24.0	2,820±160
NOS-8	野田市大崎貝塚	5.1	3.01	-22.2	3,030±210
B-77	岩槻市真福寺遺跡	3.3	2.84	-22.5	3,160±170
KS-2	千葉市木戸作貝塚	3.1	3.08	-21.9	3,180±180
B-15	千葉市築地台貝塚	5.4	3.04	-21.7	3,430±280
B-28	千葉市築地台貝塚	4.8	2.91	-22.0	3,430±160
B-200	市川市北台貝塚	3.9	3.03	-21.3	5,090±170

4-1. 関東地方遺跡出土化石による古環境

関東地方の縄文前期から晩期にかけての遺跡から出土した、ニホンシカの骨試料（表1）から抽出したコラーゲンの ^{14}C 、 ^{13}C を測定し、それぞれから ^{14}C 年代と相対的な古環境（気温）変動を推定した。

(1)抽出コラーゲンの保存に対する検証

まず、 ^{14}C 年代や $\delta^{13}\text{C}$ の測定を行なう前に、抽出されたコラーゲンが変質していないかどうかを検証する必要がある。そこで、表1に骨試料のコラーゲン含有量と抽出したコラーゲンのC/N比をあげた。表に見られるように、コラーゲン含有量は3.1~5.4%であり、3-1(1)で述べた0.7%以上という条件を充分を満たしている。C/N比についても、2.84~3.08であり、タンパク質の性質を保存している。したがって、これらの試料はすべて保存が良く、正確な ^{14}C 年代値と $\delta^{13}\text{C}$ 値が期待できる。

筆者らが以前に行なった3万年以上の古いナウマンゾウの研究で、コラーゲン含有量<0.5%、そのC/N>4.0であり、 ^{14}C 年代が1万年以上も若く出た例が数多くあった（有田ら,1990；中井ら,1991；沢田ら,1992）。しかし、本研究で用いたような数千年前以降の比較的新しい試料については、埋没中のコラーゲンの保存が良いことを物語っている。

(2)コラーゲンから求めたAMS ^{14}C 年代

抽出コラーゲンから求めたニホンシカの ^{14}C 年代は、表3に示した通り、今から5,090年前~2,820年前であった。

(3) コラーゲンの $\delta^{13}\text{C}$ 値と古環境

抽出コラーゲンの $\delta^{13}\text{C}$ 値は、表3の如く $-24.0 \sim -21.3\%$ であった。ここで、草食動物であるニホンシカの生前の食資源である植物の $\delta^{13}\text{C}$ を求めてみる。ここで問題となるのは、食資源の植物と骨や歯に蓄積されていくコラーゲンの間の炭素同位体の分別 (Fractionation) 効果である。この分別効果は温度に關係するはずであるが、

哺乳動物は体温が一定しているので、

同位体分別は気温に左右されず一定

である。そして、摂取した植物の δ 値 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PLANT}}$) と体内に残るコラーゲンのそれ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{COLLAGEN}}$) との間には、次のような關係がある。

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{PLANT}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{COLLAGEN}} - 4.5 \quad \text{----- (2)}$$

そこで、上式(2)の關係を用いてニホンシカが生存当時に摂取した植物の $\delta^{13}\text{C}$ 、すなわち $\delta^{13}\text{C}_{\text{PLANT}}$ を計算してみると、表4のようになる。すなわち、

5,090~2,820年BPの

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{PLANT}} = -28.5 \sim -25.8\%$$

ということになる。このことから、

当時の植生は主として、

“C3植物”

であったことが推測される。

次に、このようにして求めた $\delta^{13}\text{C}_{\text{PLANT}}$ の ^{14}C 年代にともなう変化をみると図2の如くなる。ここで、植物の $\delta^{13}\text{C}$ 値の光合成時の温度効果 (Kinetic isotope effect ; Temperature isotope effect) を考えてみる。すなわち、気温が高い時ほど植物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は大きく (重い ^{13}C が多く) なり、気温が低い時ほど植物の $\delta^{13}\text{C}$

表4. 関東地方ニホンシカ抽出コラーゲンの $\delta^{13}\text{C}$ 値から求めた食資源植物の $\delta^{13}\text{C}$ 値

試料 No.	食資源 (植物) の $\delta^{13}\text{C}_{\text{PLANT}}(\%)$
II-1	-28.5
NOS-8	-26.7
B-77	-27.0
KS-2	-26.4
B-15	-26.2
B-28	-26.5
B-200	-25.8

値は小さく (重い ^{13}C が少なく) なる傾向を示す (Park and Epstein, 1960 ; Sackett et al. ; 中井ら, 1982)。したがって、図2の ^{14}C 年代にともなう $\delta^{13}\text{C}_{\text{PLANT}}$ の変化から、次の結論が得られる。

- 1) 今から 5,000年前の縄文前期と中期の境界の頃は、相対的に気温が高く縄文最大海進期の末期であった。
- 2) 今から 4,000~3,500年前の縄文中~後期頃から気温は急速に低下して、小氷期的な環境になった。

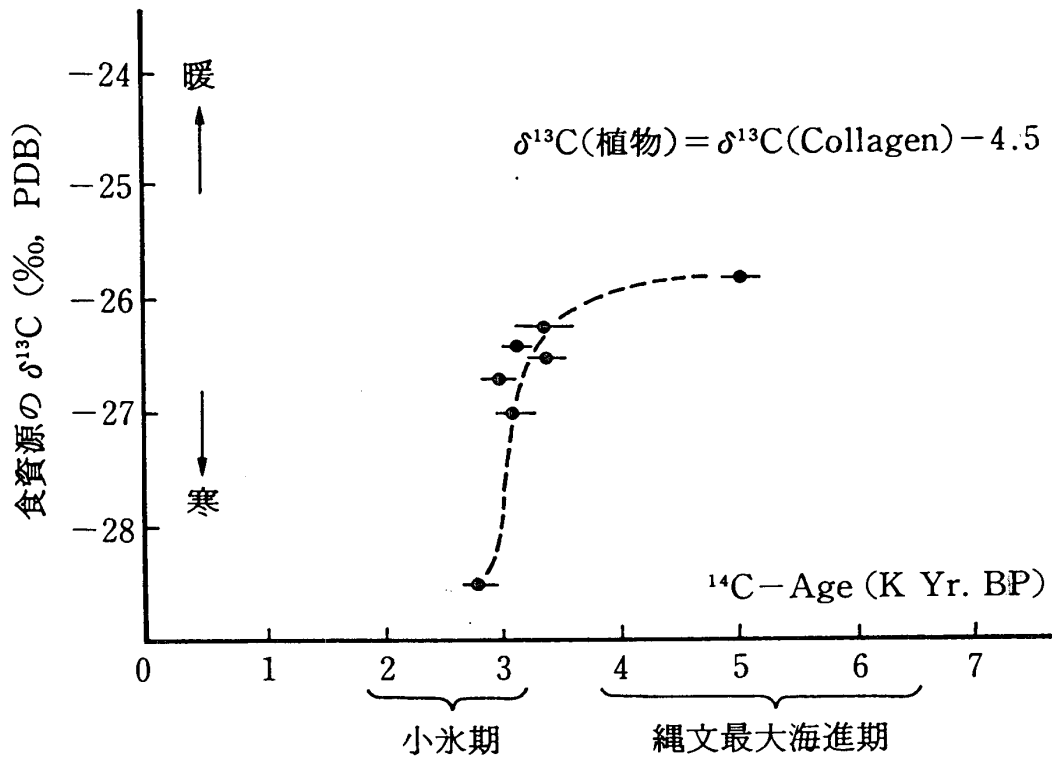


図 2. 関東平野遺跡から出土したニホンシカの骨のコラーゲンから求めた AMS ^{14}C 年代と食資源植物の $\delta^{13}\text{C}$

表 5. 愛知県の縄文時代前期初頭～弥生時代中期遺跡から出土したシカ・イノシシの歯・顎骨のリン酸カルシウムの $\delta^{18}\text{O}$ 値 [^{14}C 年代は未測定のため表中には考古学年代を示した]

試料 No.	時 代	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	試料 No.	時 代	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
4D	縄文前期初頭	+14.82	20D	弥生前期	+15.08
6D	縄文中期初頭	+14.80	21D	"	+15.34
8D	縄文中期後葉	+14.79	24D A	弥生中期	+15.22
9D	"	+15.25	24D B	"	+14.95
12D	縄文後期中葉	+15.19	25D	"	+15.17
15D	縄文晩期前葉	+15.61	27D	縄文前期初頭	+14.22
16D	"	+15.22	28D	"	+14.87

4-2. 愛知県遺跡出土化石による古環境

表2に示した愛知県の遺跡から採集されたイノシシとシカの歯・顎骨のリン酸カルシウムの $\delta^{18}\text{O}$ 値は表5に示した。

(1) 歯・骨のリン酸カルシウムの $\delta^{18}\text{O}$ は何を反映するか？

リン酸カルシウムの $\delta^{18}\text{O}$ は、主として飲料水や食資源の含有水の $\delta^{18}\text{O}$ を反映するといわれている (Longinelli, 1984)。

◎飲料水が大きく影響するとすると、二つの可能性がある。すなわち、

①降水（雨水・雪）と同じ $\delta^{18}\text{O}$ 値の飲料水を飲む

②降水の地表溜まり水で蒸発効果を受け、重くなった飲料水を飲む

①の場合は、降水の $\delta^{18}\text{O}$ の温度効果 (Temperature isotope effect: Dansgaard, 1964) により気温変化に左右され、温暖気候では $\delta^{18}\text{O}$ は大きく（重く）なり、寒冷気候では小さく（軽く）なり、それが歯や骨のリン酸カルシウムに反映されるはずである。

②の場合には、むしろ湿度に左右され、湿度が低いほど、蒸発が進み $\delta^{18}\text{O}$ は大きく（重く）なり、それが反映されるはずである。

◎食資源となる植物中の水が大きく影響するとすると、

植物の中の水は、常に木の葉などからの蒸発により、 $\delta^{18}\text{O}$ はその地域の降水よりも大きく（重く）、湿度に左右されることが知られている。

以上、いくつかの可能性を挙げたが、陸上動物について、どれが決めてになるかは未知である。そこで、今回の歯・骨試料についての $\delta^{18}\text{O}$ 測定結果を眺めてみることにする。

(2) イノシシ・シカのリン酸カルシウムの $\delta^{18}\text{O}$ 値

愛知県遺跡から出土したイノシシとシカの歯・骨の14試料についての $\delta^{18}\text{O}$ 測定の結果（表5）は、+14.22～+16.61‰であった。この変動を年代の変化で見ると図3のようになる。残念ながら、コラーゲンに ^{14}C 年代が未測定であるので、この図の横軸（年代）は出土遺跡の考古学的時代から推測したものである。

この図から、 $\delta^{18}\text{O}$ 値は、

縄文前期～縄文中期初頭の4,000年BP以前	-----	+14.22～14.87‰
縄文晩期の3,000年BP頃	-----	+15.22～15.61‰
弥生中期の2,000年BP頃	-----	+14.95～15.22‰

であり、明らかに年代とともに変動がみられる。

(3) 関東地方のニホンシカの $\delta^{13}\text{C}$ 値変動との対比

4-1で述べた関東地方の遺跡出土ニホンシカのコラーゲン $\delta^{13}\text{C}$ 値から求めた気温変動と、本項の愛知県遺跡からのイノシシ・シカのリン酸カルシウム $\delta^{18}\text{O}$ 値の変動を比較してみる。すなわち、図2と図3の年代による変化の様子をみると、次のようである。

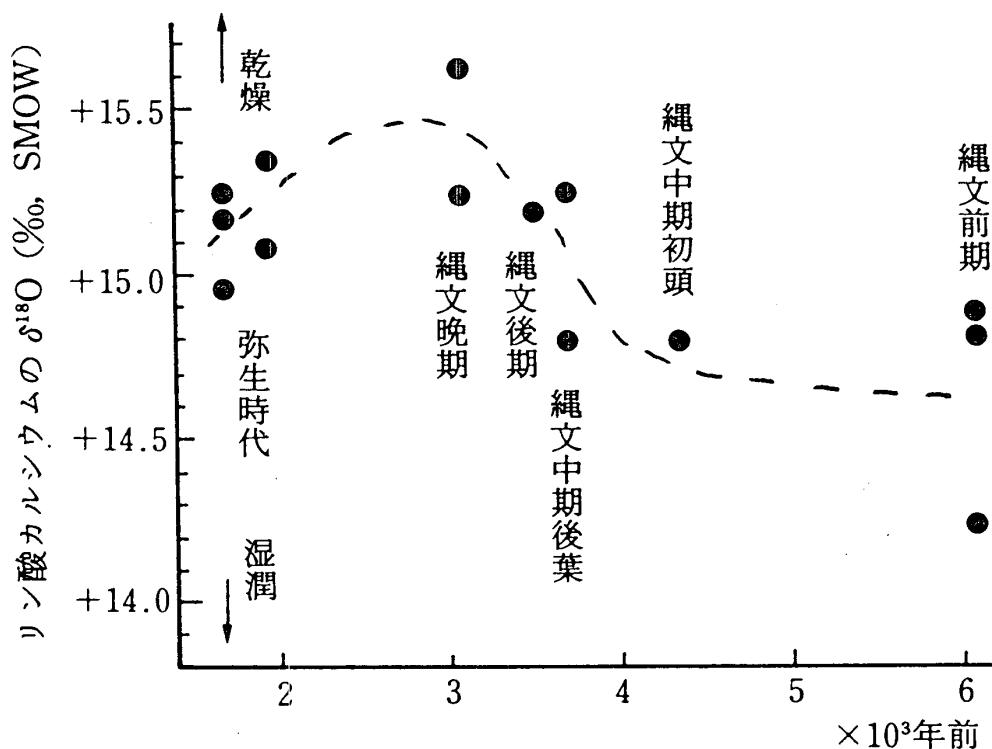


図3. 愛知県の遺跡から出土したイノシシ・シカの歯・顎骨のリン酸カルシウムの $\delta^{18}\text{O}$ の時代別変化

	関東地方イノシシ・シカの リン酸カルシウムの $\delta^{13}\text{C}$	愛知県イノシシ・シカ リン酸カルシウム $\delta^{18}\text{O}$
縄文前期～縄文中期初頭 [4,000～6,000年BP]	大(-21.3%)	小(av.+14.68%)
縄文晩期 [3,000年BP頃]	小(-24.0%)	大(av.+15.42%)
弥生中期 [2,000年BP頃]	—————	小(av.+15.11%)

この結果をみると、関東地方の $\delta^{13}\text{C}$ 値と愛知県の $\delta^{18}\text{O}$ 値は変動の様子が逆である。したがって、リン酸カルシウムの $\delta^{18}\text{O}$ は4-2①の降水の温度効果を反映しているとは考え難く、②の地表溜まり水を飲料としていたか、食資源の植物含有水を反映していることになる。すなわち、蒸発効果をしめしており、換言すると生活環境のうち湿度が大きく反映していると考えられる。これらを纏めると次のようになる。但し、関東地方と愛知県がどちらも標高の低い平野であるこ

とから、環境が同じであったことを前提としている。

- 1) 6,000~4,000年BP [縄文前期~縄文中期初頭] は湿度が相対的に最高であった。
- 2) 4,000年BPから3,000年BP [縄文中期後葉から縄文晩期] にかけて湿度は下降し、3,000年BP頃最低になった。
- 3) 3,000年BPから2,000年BP [縄文晩期から弥生中期] にかけて湿度は上昇した。

5. まとめ

以上のように、哺乳動物の歯・骨などのコラーゲンを用いてAMS ^{14}C 年代と $\delta^{13}\text{C}$ から気温変化、リン酸カルシウムの $\delta^{18}\text{O}$ から湿度変化を追跡できる可能性が出てきた。

5-1. 日本列島完新世の気候変動研究との対比

筆者らが過去10年間にわたって行なってきた古環境（海水準、気温）変動の結果と本研究のうち気温変化の結果を比べてみる。すなわち、名古屋港・三河湾・東京湾・浜名湖などから採取された堆積物コアについて、堆積有機物の $\delta^{13}\text{C}$ とC/N比を測定し、完新世の海水準・気温変化を明らかにした（中井ら,1982; Nakai et al.,1987; 中井・大石,1988; Nakai et al.,1991; Nakai et al.,1992）。これらのコア試料からは、すべて共通した変動パターンが得られたので、東京湾 [多摩川溺れ谷] 堆積物の例を図4に示した。

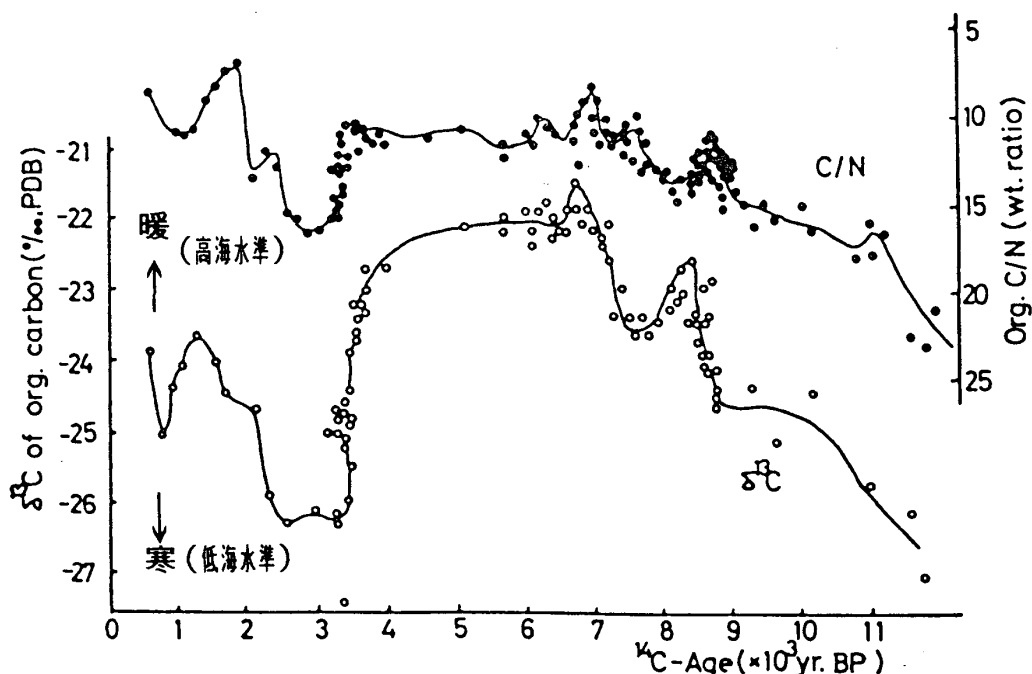


図4. 東京湾（川崎 Loc.3 コア）の堆積有機物 $\delta^{13}\text{C}$ 、C/N比のAMS ^{14}C 年代にともなう変化

図4で、図中に示したように $\delta^{13}\text{C}$ 値が大きいほど、C/N比が小さいほど（C/N比のスケールは逆にとってあることに注意）海水準高く、暖かい気候であったことを意味する。ここで、 ^{14}C 年代が5,000~3,000年BPについて、図2に示した関東地方遺跡の $\delta^{13}\text{C}$ 値の変動と比較してみる。両者の変動の様子は、完全に一致していることがわかる。すなわち、両者ともに4,000年BP頃から3,000年BPに向かって気温が下降し小氷期的な気候へと変化している。

5-2. 結論と今後の課題

草食動物のコラーゲンの $\delta^{13}\text{C}$ が気温をリン酸カルシウムが湿度を反映しているとすると、

温暖期は湿潤、寒冷期は乾燥気候

ということになる。

草食動物のコラーゲンの $\delta^{13}\text{C}$ 値については、気温変化を反映していることは証拠づけられた。リン酸カルシウムの $\delta^{18}\text{O}$ については、湿度を反映しているように思えるが確証を得るには至っていない。本報告では、同じ試料について $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ の両者を測定した結果が間に合わなかったこと、愛知県の試料については ^{14}C 年代測定の結果が出なかったことは残念である。今後、同一試料での両同位体の測定により、この手法の確立が望まれる。

最後に、本研究のために貴重な資料を提供して頂いた お茶の水女子大学生生活科学部の松浦秀治教授 及び 愛知県埋蔵文化財センターの森 勇一氏と宮腰健司氏 に厚く御礼申し上げます。また、資料収集にあたってお世話になった 磯部幸男（竹豊町歴史民族資料館）・森田林三（知多市教育委員会）・杉崎 章（同）・中野晴久（常滑市教育委員会）・宮尾嶽雄（愛知学院大学）・岡田善広（渥美町教育委員会）・野口哲也（清洲町教育委員会）・川合 剛（名古屋市見晴台考古資料館）の各氏に感謝申し上げます。

引用文献

- 有田陽子・中井信之・中村俊夫・亀井節夫・秋山雅彦・沢田 健（1990）：哺乳類化石のコラーゲン抽出法とそのAMS法による ^{14}C 年代測定。名古屋大学古川総合研究資料館報告，No.6，45-54.
- Dansgaard, W. (1964) : Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 16, 436-468.
- DeNiro, M. J. and Epstein, S. (1980) : Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 42, 495-506.
- Hare, P. E. and von Endt, D. (1990) : Variable preservation of organic matter in fossil bone. Annual Report of Director of the Geophysical Laboratory, Carnegie Institute, Washington, 1989-1990, Geophysical Laboratory, Washington D. C., 115-118.
- Johansen, O. S., Gulliksen, S. and Nydal, R. (1986) : $\delta^{13}\text{C}$ and diet: Analysis

- of Norwegian human skeletons. *Radiocarbon*, 28(2A), 754-761.
- Longinelli, A. (1984) : Oxygen isotopes in mammal bone phosphate : A new tool for paleohydrological and paleoclimatological research. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 48, 385-390.
- 中井信之・太田友子・藤沢 寛・吉田正夫 (1982) : 堆積物コアの炭素同位体比、C/N およびFeS₂含有量からみた名古屋港周辺の古気候、古海水準変動。 *第四紀研究*, 21, 169-177.
- Nakai, N., Ohishi, S., Kuriyama, T. and Nakamura, T. (1987) : Application of ¹⁴C-Dating to sedimentary geology and climatology; Sea-level and climate change during the Holocene. *Nucl. Instr. and Meth.*, B29, 228-231.
- Nakai, N., Nakamura, T., Ohishi, S., Baba, N., Yoshioka, S. and Ohta, T. (1991) : Sealevel and climatic changes in the Holocene based on organic ¹³C/¹²C and AMS-¹⁴C age studies of columnar sediments. Abstract, 2nd China-Japan Joint Symposium on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology in Guangzhou, China, 70-71.
- Nakai, N., Ohta, T., Mori, I. and Nakamura, T. (1990) : Holocene sea-level changes deduced from organic ¹³C/¹²C- and C/N-, pyrite content- and AMS age-studies of columnar neritic and littoral sediments. Abstract vol.2, 29th International Geological Congress in Kyoto, Japan, 382.
- 中井信之・大石昭二 (1988) : 完新世の海水準・気候変動の地球化学的手法による研究。名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, (I), 16-26.
- 中井信之・有田陽子・森 育子・中村俊夫・亀井節夫・秋山雅彦・沢田 健 (1991) : ナウマンゾウ、オオツノシカのAMS ¹⁴C年代と¹³C/¹²C比による最終氷期の気候変動。名古屋大学加速器質量分析計実績報告書, (II), 26-39.
- Nakamura, T., Nakai, N., Sakase, T., Kimura, M., Ohishi, S., Taniguchi, M. and Yoshioka, S. (1985) : Direct detection of radiocarbon using accelerator techniques and its application to age measurements. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 24, 1716-1723.
- van der Merwe, N.J. and Vogel, J.C. (1978) : C-13 content of human collagen as a measure of prehistoric diet in woodland, North America. *Nature*, 276, 815-816.
- Park, R. and Epstein, S. (1960) : Carbon isotope fractionation during photosynthesis. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 21, 110-126.
- Sackett, W.M., Eckelman, W.R. Bender, M.L. and Allan, W.H. Be (1965) : Temperature dependence of carbon isotope composition in marine plankton and sediments. *Science*, 148, 235-237.
- 沢田 健・有田陽子・中村俊夫・秋山雅彦・亀井節夫・中井信之 (1992) : 加速器質量分析を用いた¹⁴C年代測定による野尻湖層の編年。 *地球科学*, 46, 133-142.