

炭素安定同位体比法による古代食性の研究

Brian Chisholm*・小池裕子*・中井信之**

古食性の研究

考古学や人類学者の主要な課題のひとつである人類の生存様式に関する研究は、人類を取巻く自然環境・食糧資源・生活技術などの分析に関係するばかりでなく、日々の盛況活動や人間関係・社会関係など様々な研究分野に関連している。

このような先史時代の生存様式に関する主題のひとつの食性復原に関して、従来から研究されてきたことは、1) 先史時代人の食物となった動植物のリストアップ、2) それら動植物の量的な組成、3) その食糧組成の時代的・地域的な変化、などがおこなわれてきた。1) に関しては、すでに貝塚や低湿地性遺跡から出土した食物残査をもとに充分詳細な食物メニューが作成されているが、2・3) のような食物組成の量的な復原に関しては、各動植物種によって解体・処理の方法や保存状態などが異なり、実際に彼らが口にした食物内容を量的な精度で復原することは困難を伴う状況にあるといえる。

1975年以来、安定同位体分析が可能になり、人間を含む種々の動物の食物連鎖や食性分析に炭素の安定同位体分析が用いられるようになった。

炭素同位体比法と食物連鎖

ここで扱っている炭素同位体比は通常の炭素

^{12}C に対するその安定同位体 ^{13}C の比を指す。同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$ 単位は‰) は世界共通の PDB-standard の同位体比 ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}=0.0112372$) からの千分偏差として、次のように表示される。

$$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = \frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{sample}} - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{standard}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{standard}}} \times 1000$$

図1に地球上の大気や動植物における炭素同位体比分布の概念図を示す。地球上の炭素の大部分は大気中の CO_2 ガスあるいは海水中に溶存した炭酸イオンとして存在する。大気中の CO_2 の $\delta^{13}\text{C}$ は約 -7‰ 、海水中の溶存全炭酸の $\delta^{13}\text{C}$ は約 0‰ である。植物はこれらの炭酸ガスを取り込み、光合成を行ない植物体をつくる有機物を合成する。その有機物中の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、光合成の経路の違いによって次の3つのグループに大別される。

1) C3 (Calvin-Benson) 系サイクルの光合成経路を持つ植物で、 $\delta^{13}\text{C}$ は平均 -26.5‰ を示す。樹木・かん木など陸上の高等堅果植物の大半がこれに含まれ、イネ・小麦・ソバ・カラスムギ・オートムギなどの栽培植物もこのグループに入る。

2) C4 (Hatch-Slack) 植物は、トウモロコシ・コーリャン・キビ属・サトウキビなどのほか、乾燥地形の草本性植物がこれに属し、 $\delta^{13}\text{C}$ は平均 -12.5‰ を示す。

3) 海洋性の植物プランクトンは、C3植物と同様の光合成経路を持つが、大気とは+7‰異なった炭酸イオンを取り込むため、おおよそ-19.5‰の $\delta^{13}\text{C}$ 値を持つ。また、内湾やデルタなどの浅海域では、陸水起源の有機物が流入し、陸水起源の炭素の $\delta^{13}\text{C}$ 値の-26.5‰から海水の-19.5‰までの中間の値をとってばらつく傾向があり、また海水濃度や食物連鎖などの影響も無視できないと考えられる。

第4のグループとして、CAM (Crassulacean Acid Metabolism) があるが、サボテンやパイナップルのような熱帯性の果肉植物で生育地域が限られる。

次にこれらの植物を食べている動物についてであるが、捕食者の蛋白質の $\delta^{13}\text{C}$ 値はその食物の中に含まれる蛋白質が原料となって合成さ

れ(炭水化物と蛋白質の $\delta^{13}\text{C}$ はほぼ同じだが、蛋白質と脂質の $\delta^{13}\text{C}$ 値は異なる)、食べ物の $\delta^{13}\text{C}$ 値とその消費者の体の値の差は、平均1‰であることが知られている(DeNiro and Epstein 1978)。つまり、主としてC3系植物(-26.5‰)を食べている草食性動物はその植物より1‰高い-25.5‰、肉食性動物は捕食動物からさらに1‰高い-24.5‰となる。

また雑食性動物の場合には、捕食者の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、食物(その中の蛋白質)の組成に従って比例配分した値をとる。

海外での分析結果

この原理が考古学分野に最初に応用されたのは、新大陸の農耕文化におけるトウモロコシの検出であった。Vogel, Nikolass and van der

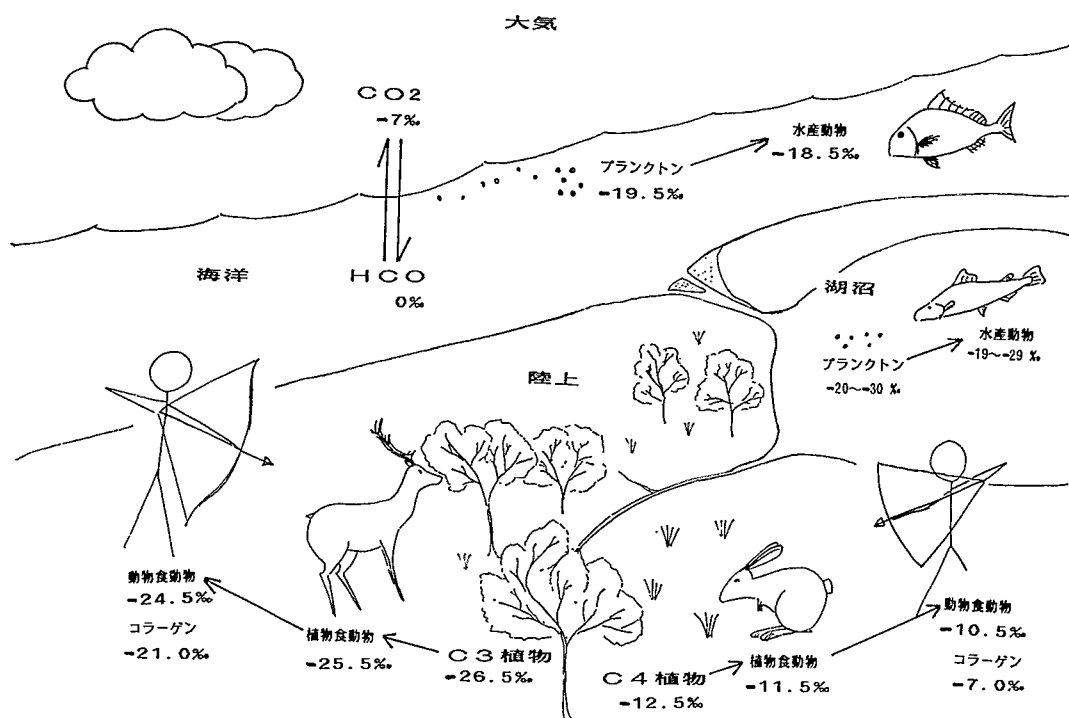


図1 地球上の炭素同位体比の分布

Merwe (1977) は、北アメリカ東部の人骨の $\delta^{13}\text{C}$ 値が $-16.6\sim -13.5\%$ を示したことから、古代食物における C 4 植物（ここではトウモロコシ）の割合が $24\sim 47\%$ であろうと推定した。またアメリカ古期前期の人骨には C 4 植物の影響が認められなかったことから、AD600～AD1000 の Woodland 文化期の人々からトウモロコシの利用が始まったと結論した (van der Merwe et al. 1978)。

この他に、C 4 植物の利用の時代的な変化に関しては、Bender et al (1981) によるアメリカ東部の Hopewell 文化や古期文化期の人骨調査、Lynott (1987) の北アメリカ中西部の調査や、Burleigh and Brothwell (1978) の家犬の餌の分析などがある。

人骨を用いた炭素同位体法の有効性が認知されるにしたがって、この方法は古食性分析全般、特に蛋白質源の中での陸上食物と海産食物の比率の推定に応用され始めた (Schoeninger et al., 1983)。Tauber (1979) はグリーンランドの 2 個体の人骨が -12.8% (平均食物値にして、 -17.3%) と、蛋白源にはまったく陸上食物が含まれないことを示唆した。また Chisholm ら (1983) は、北アメリカ東海岸において海岸部と内陸部の遺跡の人骨を分析し、海岸部の人骨の示す平均食物の $\delta^{13}\text{C}$ は -17.9% と高い海産食物依存性を示し、一方内陸部の人骨は -24.5% と陸上動物から主に蛋白質を摂取していることを示した。また、カナダ東海岸部のサケの遡上する河川域に住む人々は -20.0% とその中間の値を示した。

このように炭素安定同位体分析は、現在では上記の北アメリカを中心に、南アメリカ (Searly

et al. 1985)、オーストラリア (Hobson and Colliern: 1984)、南アメリカ (Norr: 1981)、ヨーロッパ (Johansen: 1986, Tauber: 1981) など世界各地の古代人の食物分析に用いられている。

測定法

次に炭素安定同位体分析の試料や分析手順について紹介したい。この分析に必要な試料の最少必要量は、質量分析機が測定可能な CO_2 ガス圧に左右されるが、コラーゲン乾燥重量にしておおよそ 100 mg が最少量である。人骨中のコラーゲンの保存量は骨によって異なり、一般に時代が古くなるほど少なくなるが、貝塚産人骨でも骨重量にして 1～2 g、肋骨で数 cm あれば十分である。次に現在用いられている人骨の処理方法を紹介する。

1) 試料の脱灰：人骨を 1 mm 以下の細粒に粉碎し、最初は 1N HCl 溶液で約 15 分、次回からは 30 分ごとに、0.1～0.2N HCl 溶液を加えて、脱灰溶液が着色しなくなるまでこの操作を繰り返す、人骨を脱灰する。

2) コラーゲンの抽出：脱灰操作の後得られた残渣を小型ナスフラスコに取り、0.1N HCl を加え、 60°C のホットプレート上で 10 時間以上加熱し、コラーゲンを熱分解する。ミリポアフィルター（ガラス繊維フィルター）で濾過し、濾液をホットプレート上で蒸発濃縮後、得られたコラーゲン蛋白を凍結乾燥し保管する。

3) CO_2 ガスの調製：コラーゲン 10 mg を速やかに秤量し、酸化第二銅（綿状）約 1 g を加えたパイレックスガラス管（径 6 mm）に真空封入し、 520°C で約 2 時間燃焼し、 CO_2 ガスとする。 CO_2 ガスは真空ライン中で、液体窒素

表1 日本産食用植物の $\delta^{13}\text{C}$ 測定値 (‰)

学 名	和 名	脱 脂	未処理
C4 植 物			
<i>Echinochloa crusgalli</i>	ヒエ	a) -11.6 b) -10.7	-11.6 -10.8
<i>Setaria italica</i>	アワ	-11.1	-11.1
<i>Panicum miliaceum</i>	キビ	-10.9	-13.0
C3 植 物			
<i>Fagus crenata</i>	ブナ	-23.6	-27.3
<i>Quercus mongolica</i>	ミズナラ	-25.4	-26.7
<i>Q. acutissima</i>	クヌギ	-25.8	
<i>Aesculus sp.</i>	トチ	-23.2	-23.2
<i>Castanopsis cuspidata</i>	シイ	-25.7	
<i>C. c. var. siboldii</i>	スダジイ	a) -27.1 b) -26.4	-29.4
<i>Pasania edulis</i>	マテバシイ	-25.8	
<i>Torreya nucifera</i>	カヤ	-23.4	-23.7
<i>Corylus heterophylla</i>	ハシバミ	-25.7	-27.9
<i>Juglans sp.</i>	クルミ	-25.1	-28.9
<i>Akebia quinata</i>	アケビ	-27.0	-27.3
<i>Ginkgo ieucantha</i>	イチョウ	-24.1	-24.0
<i>Ardisia crenata</i>	コウリヤン	a) -25.9 b) -24.1	-24.5
<i>Wisateria floribunda</i>	フジ	-24.7	-25.3
<i>Pinus parviflora</i>	ヒメコマツ	-25.4	
<i>Polygonum cuspidatum</i>	イタドリ	-26.3	
<i>Hemerocallis aurantiaca</i>	カンゾウ	-26.4	
<i>Aralia cordata</i>	ウド	-25.9	
<i>Pteridium aquilinum</i>	ワラビ	-26.2	

a) b)は産地の異なる資料の分析値。

(-197°C)と液体窒素—エタノール混液(-100~-110°C)を交互に用いて精製する。

4) $\delta^{13}\text{C}$ の測定：名古屋大学理学部地球科学教室の Varian MAT CH7 型同位体質量分析計を用いて $\delta^{13}\text{C}$ を測定した。

なお食物標準値を測定するための現生動植物サンプルの場合には、可食部の凍結乾燥試料をアセトンまたはクロロホルム—メタノール混液(2:1)で脂質を除去したのち、人骨コラー

ゲンと同様に処理した。

日本産食用動植物の炭素安定同位体比

食物となった動植物には地理的な変異が認められることから、古食性分析の作業は、遺跡出土資料をもとにその地域食物リストを作成し、それらの動植物の $\delta^{13}\text{C}$ 値を測定することから始まる。表1に日本産の主要食用動植物のうち今までに測定されたものを示す。主要植物のう

表2 日本産陸上野生哺乳動物の $\delta^{18}\text{C}$ 測定値 (‰)

ニホンジカ (日光産1986年3月遺体発見)		$\delta^{18}\text{C}$ 値 (脱脂処理をした値)
大 腿 筋		-27.4
肋 間 筋		-27.4
肺 臓		-27.4
肝 臓		-27.3

学 名	和 名	$\delta^{18}\text{C}$ 値 (脱脂)
<i>Cervus nippon</i>	ニホンジカ	-27.4
<i>Capricornus crispus</i>	ニホンカモシカ	-25.7 ± 1.0
<i>Macaca fuscata</i>	ニホンザル	-24.6* ¹ (-21.1)
<i>Sus scrofa</i>	イノシシ	-23.1 ± 0.1
<i>Selenarctos thibetanus</i>	ツキノワグマ	-22.4

*1 骨中コラーゲン測定値 (‰) からの換算値

ち、現在までに検出されたC4植物には、ヒエ・キビ・アワがあり、その平均値は-11.7‰であった。そのほかのブナ・ミズナラ・クヌギ・シイ・スダジイ・マテバシイなどのどんぐり類、ハシバミ・クルミ・トチなどの堅果類やギンナン・フジなどの実、イタドリ・ウド・カンゾウなどの野草の野生植物はすべてC3植物であった。

表2に日本産哺乳動物の可食部の測定値を示す。ニホンジカの大腿骨・肋間骨・肺臓・肝臓の各組織を測定した結果、同一個体内の組織による差は認められなかった。また、測定した日本産哺乳類の間では、ニホンジカ、ニホンカモシカ、ニホンザル、イノシシ、ツキノワグマの順に $\delta^{18}\text{C}$ 値が高くなり、この順で次第に雑食性が強くなっていることを示唆しているのは興味深い。

餌とそれを食べた動物の骨中コラーゲンの差、つまりある動物の骨を用いてその食物の平均 $\delta^{18}\text{C}$ を調べる場合の補正值について、一定の飼料下で飼育されているニホンザルを用いて検

討した。その結果は表3のごとくで、ニホンザルのオス・メスおよび各年齢において特定の傾向はなく、平均 $-19.9 \pm 0.6\text{‰}$ であった。餌の主食となったモンキービスケットは-24.1‰であったことから、その差は+4.2‰となり、今までの推定値+4.5‰を支持した。

一方、海棲動物の測定値には、かなりのばら

表3 飼育ニホンザルの $\delta^{18}\text{C}$ 測定値 (‰)
(大山霊長類研究所保管標本)

性別	年齢	$\delta^{18}\text{C}$ 値
オス	3才3ヶ月	-19.6
	3才6ヶ月	-20.5
	3才8ヶ月	-19.4
	4才4ヶ月	-20.6
	10才1ヶ月	-20.3
メス	1才10ヶ月	-18.9
	3才8ヶ月	-19.8
	3才9ヶ月	-20.2
	4才2ヶ月	-19.9
	5才7ヶ月	-20.3
ニホンザルの平均		-19.9 ± 0.5
モンキービスケット		-24.1
差		+ 4.2

表4 水産動物の $\delta^{13}\text{C}$ 測定値 (‰)

学 名	和 名	$\delta^{13}\text{C}$ 値 (脱脂)
貝 類		
<i>Corbicula japonica</i>	シジミ	-22.3
<i>Crassostrea gigas</i>	マガキ	-17.1
<i>Mytilus edulis</i>	ムラサキイガイ	-16.6
<i>Tapes japonica</i>	アサリ	-16.3
<i>Meretrix meretrix</i>	シナハマグリ	-15.5
<i>Dosinia japonica</i>	カガミガイ	-14.5
魚 類		
<i>Plecoglossus altivelis</i>	アユ	-18.3 (-18.0, -18.6)
<i>Zacco platypus</i>	オイカワ	-18.5 (-19.3, -18.4, -17.8)
<i>Seriola aureovittata</i>	ヒラマサ	-19.1 (-18.5, -20.2, -18.7)
<i>Oncorhynchus masou</i>	ヤマメ	-18.4 (-18.6, -18.1)
<i>Sebastes inermis</i>	メバル	-18.2
<i>Girella punctata</i>	メジナ	-17.8
<i>Beryx splendens</i>	キンメダイ	-17.5 (-17.2, -17.8)
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	イシダイ	-17.0
<i>Chrysophrys major</i>	マダイ	-16.1 (-16.3, -15.7, -16.4)
<i>Argyrosomus argentatus</i>	イシモチ	-14.9 (-15.3, -14.9, -14.4)
<i>Tribolodon hakonensis</i>	ウグイ	-14.3 (-14.3, -14.1)
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	カワハギ	-14.2 (-14.6, -13.1, -14.8)
<i>Hexagrammos otakii</i>	アイナメ	-13.9
<i>Mugil cephalus</i>	ボラ	-13.7
<i>Lateolabrax japonicus</i>	スズキ	-14.0 (-13.6, -14.4)
<i>Evynnis japonica</i>	チダイ	-15.0

() 内は個体差.

つきが認められた (表4)。特に内湾性の魚類や河口や汽水域の動物の場合には値が不安定であった。河口や汽水域では陸の植物起源の軽い炭素が混入してくる可能性があり、また一部の海藻にはC4植物と似た軽い $\delta^{13}\text{C}$ 値を示すものがあることも知られている。このような一次生産者の $\delta^{13}\text{C}$ 値に大きな幅が考えられるほか、栄養段階についても魚の成長につれてより高次の栄養段階に進むなど、一律に論じられない様々な側面をもつと思われる。

このような問題点を内包するため、日本の先史時代人の古食性分析を考える場合には、広域

の比較には多少正確さを欠くと考えねばならないが、一定地域内での時代的な差異について検討することは可能であると考えられる。

C4植物の先史時代での利用については、植物遺体としてヒエ・キビ・アワが検出されておらず、また土器炭化物の測定からも積極的にこれを支持するような $\delta^{13}\text{C}$ 値が得られなかった。ここではC3植物—陸上系 (-26.5~-25.5‰) と内水面動物系 (-18.5~-17.5‰) の2群を主な蛋白源とした場合を仮定して考察したい。

先史時代人の食性復原の分析には、人骨中の

コラーゲンを用いる。これは、通常残存することが稀な蛋白質が骨中のコラーゲンではよく保存され、かつその $\delta^{13}\text{C}$ 値が安定であることによる。上述のように捕食者とその食物との $\delta^{13}\text{C}$ 値の差が $+1\text{‰}$ なのに対し、骨中のコラーゲンとその食物との $\delta^{13}\text{C}$ 値の差は $+4.5\text{‰}$ である。そこでこの論文では、人骨中のコラーゲンの $\delta^{13}\text{C}$ 値測定値から 4.5‰ を差引いた値を採取食物の平均推定値とした。

また人間のような雑食性動物の場合には、捕食者の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、食べた食物組成に従ってその中に含まれる蛋白質の $\delta^{13}\text{C}$ 値を比例配分した値をとる。たとえば、骨中のコラーゲンの測

定値が -19.5‰ の場合（つまり平均食物の推定値は -24.0‰ ）、水産食物の代表値（ -18.5‰ ）と陸上食物の代表値（ -25.5‰ ）を用いると、その蛋白質食物組成はほぼ $1:3$ と推定される。

古代人骨の分析結果

今までに測定が完了した人骨は、九州大学医学部所蔵の西南日本10遺跡の人骨を中心にした130個体である（図2）。同一遺跡内の人骨の $\delta^{13}\text{C}$ 値のばらつきは、 $0.5\sim 1.4\text{‰}$ とわりに小さく、食物摂取の個体差は比較的小さかったと推定される。特に江戸時代の武家の墓が多いと

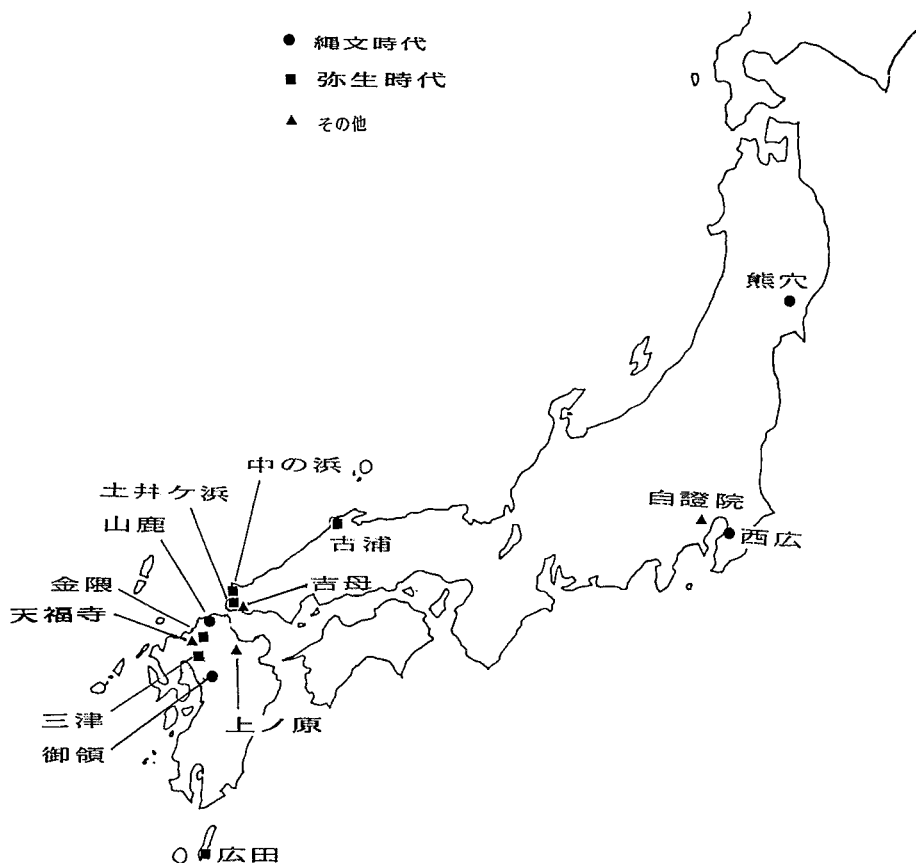


図2 分析試料が得られた遺跡

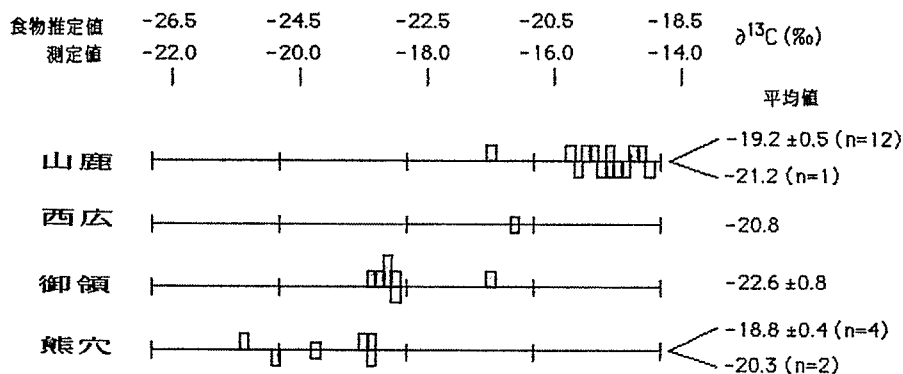


図3 縄文時代における貝塚遺跡と内陸部遺跡の $\delta^{13}\text{C}$ 値の差
上段は男性・下段は女性

考えられている自証院遺跡出土の人骨では個体差が少ないのが特徴であった。縄文時代の4遺跡はともに縄文後晩期に属し、北九州の海岸部に位置する山鹿貝塚から出土した人骨は、男女とも摂取した蛋白質の80～90%を内水面食糧から得たことを示したが、有明海のやや内陸部に

位置する御領貝塚では30～50%、岩手県の内陸部の洞窟遺跡の熊穴洞窟では10～20%に内水面系蛋白質の摂取が落ちる結果を示した(図3)。

分析例の比較的多い九州地域を中心に各遺跡の人骨の $\delta^{13}\text{C}$ 平均値を用いて、食物組成の時代差について考察すると(図4)、縄文時代は

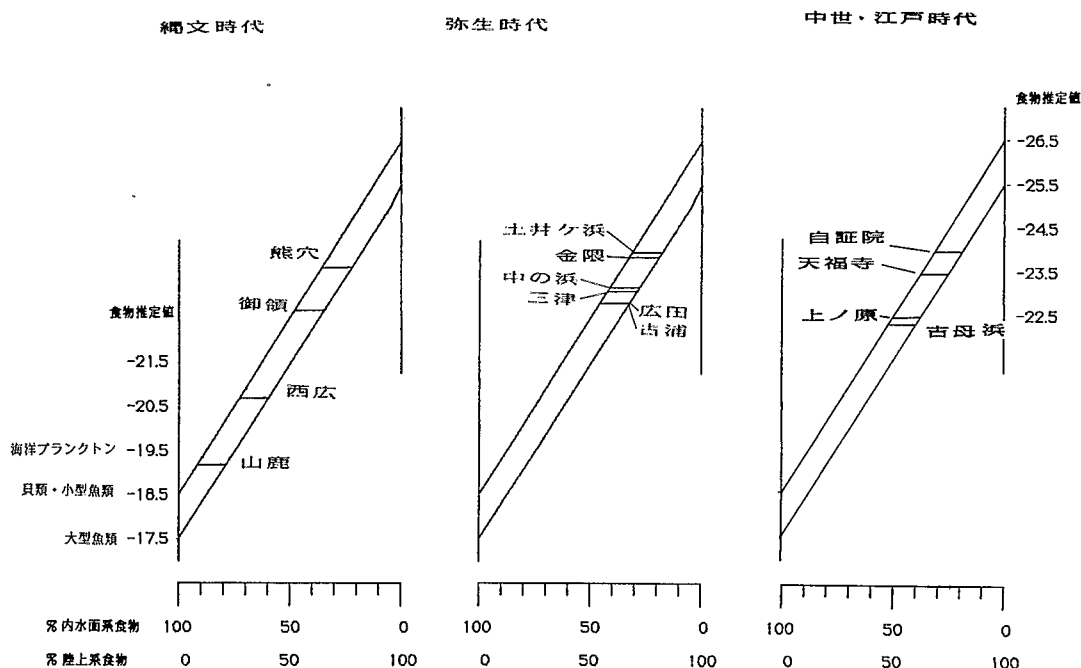


図4 各遺跡出土人骨の示す平均 $\delta^{13}\text{C}$ 値に基づいた陸上系食物と内水面食物の推定値

前述のように地域によって食物組成が異なり、特に海岸部では内水面系の比率が高いことを特徴とするが、弥生時代に入ると、三津・中の浜・金隅・土井ヶ浜・広田・古浦遺跡ともに内水面系蛋白質の割合は30～50%で、縄文時代と明瞭な差を示した。歴史時代に入ると、海岸部の吉母浜などで再び内水面系が50%代になるなど

地域的な差が再び拡大する傾向がうかがえる。今後分析例を増やししながら、先史時代人の食性の時代差・地域差について検討するとともに、各人骨の形態的な特徴や健康状態、さらに埋葬状況や副葬品の有無などの諸特徴と $\delta^{13}\text{C}$ 値の傾向など幅広く人類学的考古学的見地からも検討していきたい。

参 考 文 献

- Bender, M. M., D. A. Baerreis and R. L. Steventon(1981) Further light on carbon isotopes and Hopewell agriculture. *American Antiquity* 46(2) : 346—353.
- Burleigh, Richard and Don Brothwell(1978) Studies on Amerindian dogs, I: Carbon isotopes in relation to maize in the diet of domestic dogs from early Peru and Ecuador. *Journal of Archaeological Science* 5 : 355—362.
- Chisholm, Brian S., D. E. Nelson, K. A. Hobson, H. P. Schwarcz and M. Knyf(1983) Carbon isotope measurement techniques for bone collagen: Notes for the archaeologist. *Journal of Archaeological Science* 10 : 335—360.
- DeNiro, Michael J. and Samuel Epstein(1978) Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42 : 495—506.
- Hobson, Keith A. and Stephen Collier(1984) Marine and terrestrial protein in Australian Aboriginal diets. *Current Anthropology* 25 (2) : 238—240.
- Johansen, Olav Sverre, Steinar Gulliksen and Reidar Nydal(1986) $\delta \text{C-13}$ and diet: Analysis of Norwegian human skeletons. *Radiocarbon* 28(2A) : 754—761.
- Lynott, Mark J., Thomas W. Boutton, James E. Price and Dwight E. Nelson(1986) Stable carbon isotopic evidence for maize agriculture in Southeast Missouri and Northeast Arkansas. *American Antiquity* 51(1) : 51—65.
- van der Merwe, Nikolass J. and J. C. Vogel(1978) C-13 content of human collagen as a measure of prehistoric diet in woodland North America. *Nature* 276 : 815—816.
- Norr, Lynette(1981) Prehistoric Costa Rican diet as determined from stable carbon isotope ratios in bone collagen. *American Journal of Physical Anthropology* 54 : 258—259.
- Schoeninger, Margaret J., Michael J. DeNiro and Henrik Tauber(1983) Stable nitrogen isotope ratios of bone collagen reflect marine and terrestrial components of prehistoric human diet. *Nature* : 1381—1383.

- Sealy, Judith C. and Nikolaas J. van der Merwe(1985) Isotope assessment of Holocene human diets in the southwestern Cape, South Africa. *Nature* 315(9) : 138-140.
- Tauber, M. A. and F. J. Pearson, jun(1979) C-14 activity of Arctic marine mammals. In R. Berger and H. E. Suess (eds) *Radiocarbon dating*: Univ. of California Berkeley : 447—452.
- Tauber, Henrik(1981) C-13 evidence for dietary habits of prehistoric man in Denmark. *Nature* 292(5821) : 332—333.
- Vogel, J. C. and Nikolaas J. van der Merwe(1977) Isotopic evidence for early maize cultivation in New York state. *American Antiquity* 42 (2) : 238—242.

(*埼玉大学・教養部)

(**名古屋大学・理学部地球科学教室)