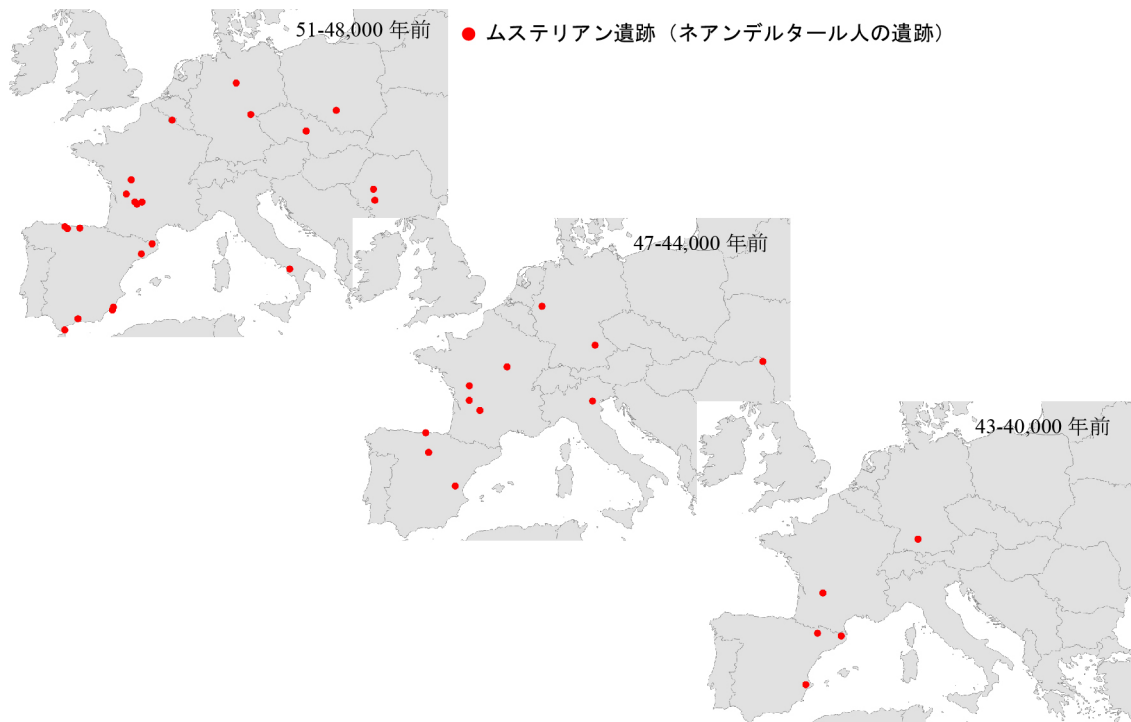


公開講演会

ネアンデルタール人の 絶滅の謎に迫る



講演会予稿集

主催

文部科学省科学研究費補助金
新学術領域研究「交替劇」(2010-2014)

2015.2.7

表紙図: 約 51,000 年前から 40,000 年前にかけてのヨーロッパのムステリアン遺跡 (ネアンデルタール人遺跡) の分布変化。ネアンデルタール人の遺跡は、48,000 年前の寒冷化以降減少を始め、およそ 40,000 年前までに消滅する。

公開講演会【ネアンデルタール人の絶滅の謎に迫る】

日時：2015年2月7日(土) 13:00-17:30

会場：東京大学本郷キャンパス理学部2号館講堂

主催：文部科学省科学研究費補助金・新学術領域研究「ネアンデルタールとサピエンス交替劇の真相：学習能力の進化に基づく実証的研究」(2010-2014)

実行委員長：佐野勝宏

目次 CONTENTS

開催趣旨	佐野勝宏	1
講演		
ネアンデルタール人の絶滅プロセスとその背景	佐野勝宏	2
最後のネアンデルタール人が直面した環境変動	阿部彩子	4
ネアンデルタール人の成長・発達と栄養生態	山内太郎	7
ゲノム研究は旧人・新人間の学習能力の違いに切り込めるか？	木村亮介	9

プログラム

PROGRAM

2015年2月7日(土)

12:30- 開場・参加者受付

13:00-13:10

趣旨説明

佐野勝宏 (東京大学)

13:10-14:00 (講演 40分+質疑応答 10分)

佐野勝宏 (東京大学)

「ネアンデルタール人の絶滅プロセスとその背景」

14:10-15:00 (講演 40分+質疑応答 10分)

阿部彩子 (東京大学)

「最後のネアンデルタール人が直面した環境変動」

15:10-16:00 (講演 40分+質疑応答 10分)

山内太郎 (北海道大学)

「ネアンデルタール人の成長・発達と栄養生態」

16:10-17:00 (講演 40分+質疑応答 10分)

木村亮介 (琉球大学)

「ゲノム研究は旧人・新人間の学習能力の違いに切り込めるか？」

17:00-17:30

総合討論

開催趣旨

絶滅した旧人ネアンデルタール人と世界中に拡散した新人ホモ・サピエンスの命運を分けた真相に迫るべく、本プロジェクトは2010年にスタートしました。この間、否定されていた両者の交雑の証拠がDNA分析でつきとめられ、デニソワ人という新たな人類種の存在も明らかとなりました。この5年間で、旧人・新人の交替劇の様相は遙かに複雑化したと言えます。一方、年代測定技術と統計的推定方法の進歩により、ネアンデルタール人の絶滅年代の高精度復元が可能となり、彼らはおおよそ4万年前までに絶滅したらしいことがわかってきました。

我々も、独自の手法でネアンデルタール人がおおよそ4万年前までに絶滅した可能性が高いという結論にたどり着き、約48,000年前以降、彼らの遺跡数が次第に減少していく事実を突きとめました。ネアンデルタール人が、人口を減らし始めたと考えられる48,000年前は、ハインリッヒ・イベント5の寒冷期に当たります。この寒冷化イベントは、彼らが人口を減らし始めた要因の1つと考えられます。しかし、ネアンデルタール人が出現し始める約30万年前以降、彼らは幾度かの寒冷期を経験し、生き延びてきました。ネアンデルタール人が人口を減らし始める契機となったのがハインリッヒ・イベント5の寒冷化として、彼らは何故その後人口回復することなく絶滅してしまったのでしょうか？

本公開講演会では、ネアンデルタール人絶滅の謎の背景を探る「交替劇」プロジェクトの成果を紹介し、特に以下の点を中心に議論します。

1. ホモ・サピエンスのヨーロッパ入植イベントの影響。
2. ハインリッヒ・イベント5以降に見られるダンスガード・オシュガー振動による急激な気候変動の影響。
3. ネアンデルタール人の高いエネルギー消費量の影響。
4. ゲノム研究から見たヨーロッパにおけるネアンデルタール人とホモ・サピエンスの交雑頻度と交雑によるネアンデルタールの形質の喪失の可能性。

佐野勝宏
東京大学

ネアンデルタール人の絶滅プロセスとその背景

佐野勝宏（さの かつひろ）

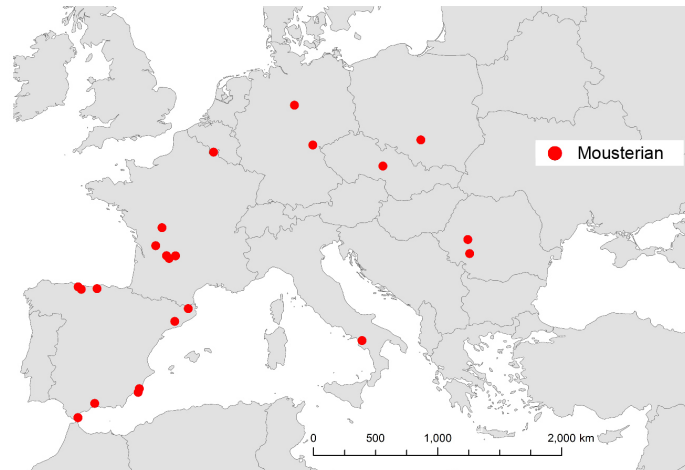
東京大学・総合研究博物館・特任助教

ネアンデルタール人は、約 30 万年前以降ヨーロッパでその形質的特徴を発達させ、やがてヨーロッパ以外の西アジア、中央アジア、アルタイ地方へとその生息域を拡大させていく。彼らの生息領域はユーラシア大陸の広大な地理的範囲に及ぶが、出土人骨のほとんどはヨーロッパから出土している。これは、調査精度と遺跡の保存状況にも由来するが、少なくともヨーロッパがネアンデルタール人の主な活動領域の 1 つであったことは間違いない。したがって、ヨーロッパにおけるネアンデルタール人絶滅の背景を探る試みは、ネアンデルタール人とホモ・サピエンスの交替劇の真相を明らかにする上で欠かすことのできない重要な課題である。

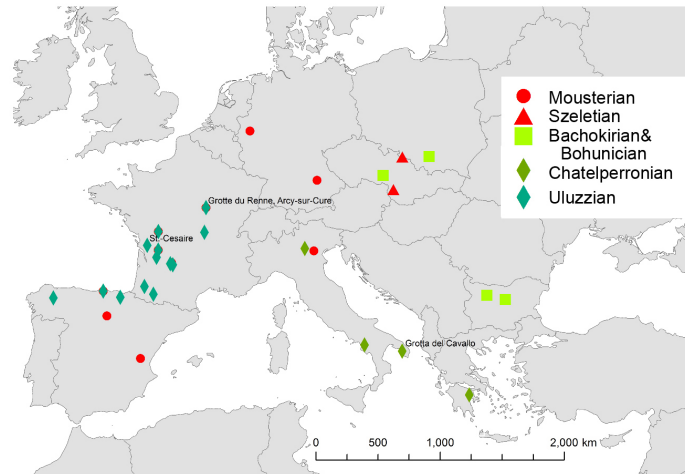
我々は、ヨーロッパにおけるネアンデルタール人の絶滅プロセスを明らかにするため、彼らが残した考古文化（ムステリアン）の消滅年代の高精度復元をおこなった。また、ホモ・サピエンスのヨーロッパ拡散がネアンデルタール人絶滅に与えた影響度を知るため、ホモ・サピエンスの考古文化がヨーロッパに出現する年代の高精度復元も実施した。考古文化の出現・消滅の高精度復元には、本プロジェクトで構築した約 30 万年前から 2 万年前に渡る考古・人類遺跡データベース（Neander DB）を使用した。また、その解析に際しては、各遺跡の年代値の信頼性の精査、最新の前処理技術で得られた年代値を用いた年代校正、ベイズ推定に基づく統計解析をおこなった。

その結果、約 48,000 年前の寒冷なハインリッヒ・イベント 5 以降、ネアンデルタール人の遺跡は次第に減少し始めることが明らかとなった。一方、ホモ・サピエンスの最初のヨーロッパ拡散（バチョキリアン・ボフニチアン集団）は、その後の急激な温暖化の頃に起こった可能性があることがわかった。また、ホモ・サピエンスのヨーロッパ拡散は、幾度かの起源の異なる集団によってなされた可能性が有り、初期の拡散は遺跡数の少なさから小規模集団であった可能性が高い。しかし、遺跡の年代値解析とその時空間分布の分析により、プロト・オーリナシアンと呼ばれるホモ・サピエンスの考古文化は、おおよそ 43,000 年前以降に急速に遺跡数が増加し、これまでネアンデルタール人の遺跡が多く存在していた地域を占拠してしまうことが明らかとなった。しかも、当ホモ・サピエンス集団はこれまでとは全く異なる革新的な狩猟具を携えていたものと考えられる。同じ頃、減少の一途をたどっていたネアンデルタール人の遺跡は、更なる急激な減少を示し、約 40,000 年前以降の信頼できるネアンデルタール人遺跡は存在しなくなる。

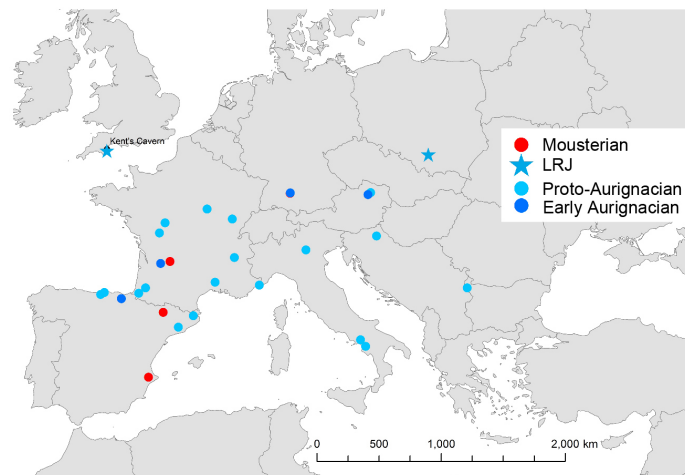
本講演では、ネアンデルタール人を絶滅へと導いた可能性のある幾つかの要因の内、ホモ・サピエンスのヨーロッパ入植が与えたインパクトに関して議論する。



51,000～48,000 年前の遺跡分布



47,000～44,000 年前の遺跡分布



43,000～40,000 年前の遺跡分布

図1 51,000～40,000 年前までのヨーロッパにおける考古文化別遺跡分布の変化

Mousterian (ムステリアン)、Szeletian (セレットィアン)、Bachokirian & Bohunician (バチョキリアン・ボフニチアン)、Uluzzian (ウルツィアン)、Chatelperronian (シャテルペロニアン)、LRJ (イエジマノウィチアン)、Proto-Aurignacian (プロト・オーリナシアン)、Early Aurignacian (前期オーリナシアン)

最後のネアンデルタール人が直面した環境変動

阿部彩子（あべ あやこ）

東京大学・大気海洋研究所・准教授

地球科学の古気候（paleoclimate）研究の分野は、過去の気候環境を復元し、その変動メカニズムを明らかにすることを目的としている。従来の地質学的研究手法に加えて物理学的手法が盛んに開発されたことで、この分野の研究が大いに進んだ。とくに、「なぜ」「いかに」を明らかにするための気候変動に関するコンピューターシミュレーション（数値モデリング）の手法は新しく、現在開発と検証がどんどん進められている。

ネアンデルタール人とホモ・サピエンスが共存していた時代、そして、ネアンデルタール人が絶滅した時代は、いわゆる氷期-間氷期サイクルの氷期にあたる時期にあった（図1）。氷期といっても、ずっと安定して今よりある一定温度寒かったわけではない。とくにネアンデルタール人がだんだん衰退していった時期の、過去5万年前から4万年前は、現在くらいの「温暖期」と、2万年前の氷期に近い「寒冷期」をいったりきたりしたことが地球上のあちこちの痕跡でわかる。その1万年間に大きい変化だけで約4回にも上る。

北大西洋周辺では時折急激な大きな気候変化が起きたことが、グリーンランド氷床から掘削された深層氷床コアの酸素同位体比分析から1980年代発見されて以来徐々に明らかになってきた。2万前の最終氷期からの回復期に当たる約12,000年前ころに1,000年間ほど現れた「ヤンガー・ドライアス寒冷イベント」がその典型例で有名である。さらに、氷期においても、20回以上見られることがわかった。それは、数千年くらいで徐々に寒くなつては、その後数十年から数百年で一気に暖くなるという変動をしており、いわゆる10万年周期の氷期間氷期サイクルとはまったく異なる。1980年代にグリーンランド氷床コア掘削に貢献したデンマークとスイスの著名な2人の研究者の名前をとって、この変動は「ダンスガード・オシユガー振動（D-O振動）」と呼ばれる。その後、D-O振動の長期変動に同期するかのようになり、氷山が一気に北大西洋に押し出された現象（「ハインリッヒイベント」と呼ばれている）や、グリーンランドのD-O振動とほぼ同期した北大西洋の海水温や海氷変化や、中国の鍾乳石の化石や、南極の氷床コアの気温がみつまっている（図2、図3）。

因果関係はまだはっきりしないものの、D-O振動を伴った特に著しい寒冷期から一気に温暖化するとき、北大西洋の海氷や深層循環が急変したらしいこと、南半球では少し時期がずれてゆっくりと逆の変化が起きていることから、赤道をまたいだ深層海洋循環の著しい変化が重要であると考えられる。これについては、大気・海洋・氷床が相互に関わり合って気候系が非線形的な挙動を示した結果と言われている。その全球に及んだ影響がいったいどれほ

どだったのかを再現するためにも、そのメカニズムの解明が必要だ。スーパーコンピューターを用いた数値実験による気候変化再現とメカニズム、そしてネアンデルタール人とホモ・サピエンスのいた環境変化について研究の一端を報告をする。

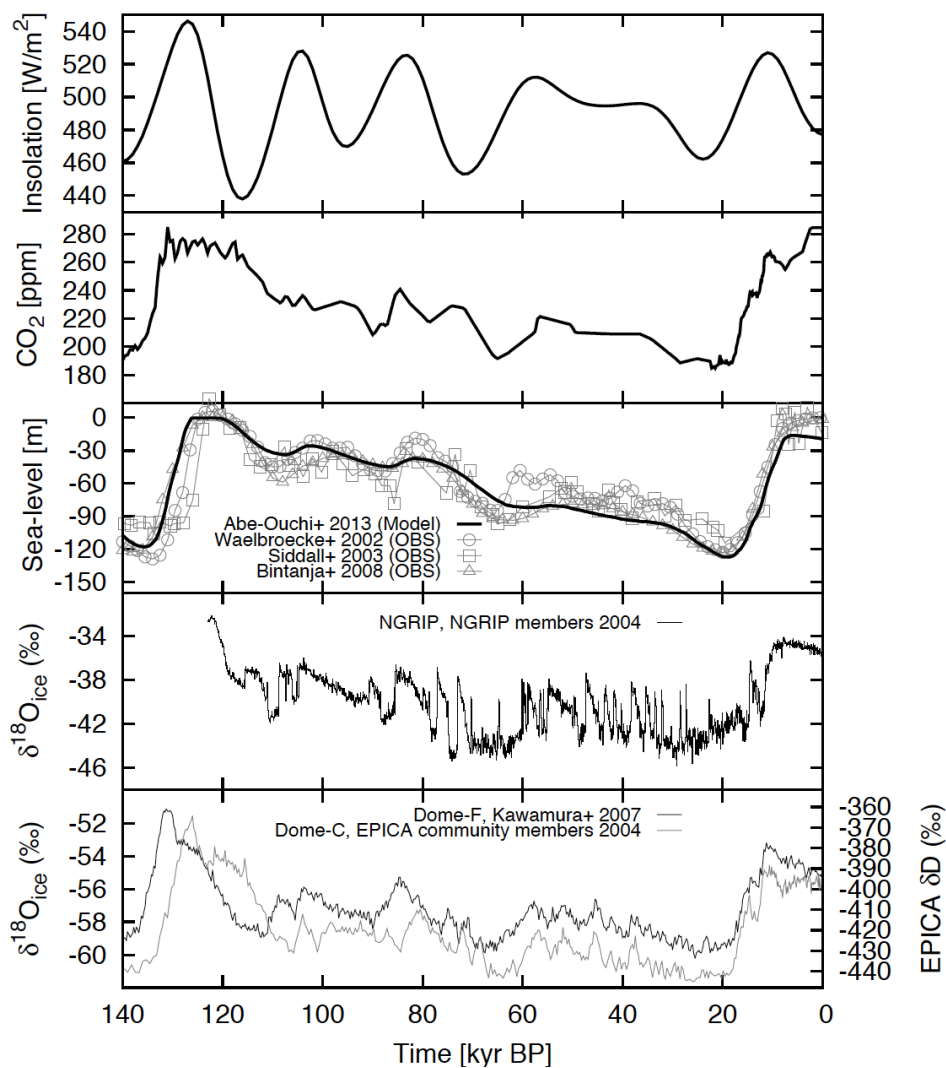


図1 氷期間氷期1サイクル（13万年前から現在まで）の日射、CO²、氷床変化（海水準相当）
 （Abe-Ouchi et al, 2013, Nature, および、丸善出版「地球温暖化の事典」阿部彩子分担執筆 2013）

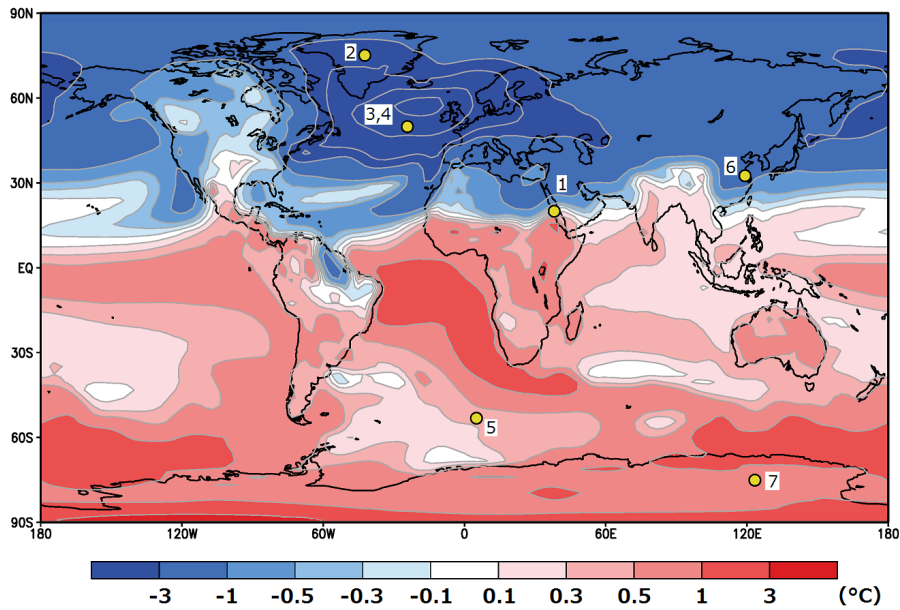


図2 典型的D0イベントの寒冷期と温暖期の差の気温分布
 図中の番号は、図3に示す観測地点（阿部ら、未出版）

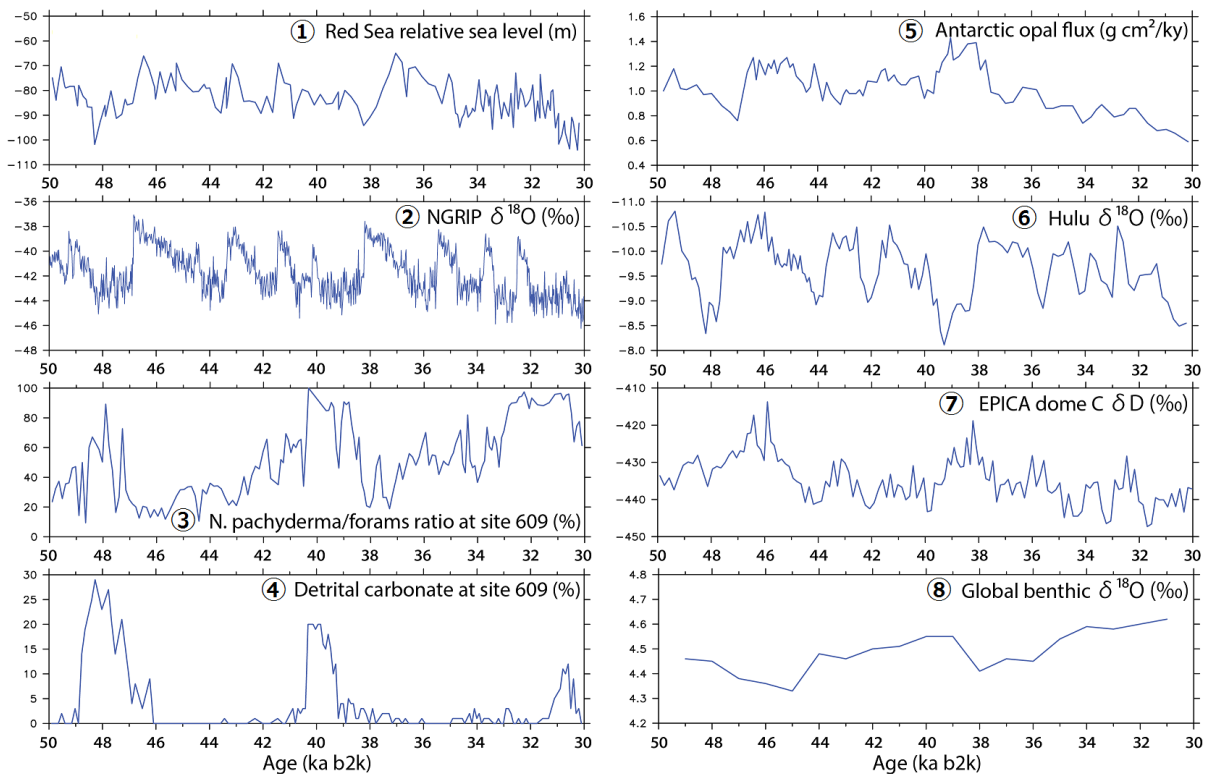


図3 5万年前から3万年前まで、観測される様々な気候指標データの時系列

1) 紅海、海水準, 2) グリーンランド気温指標, 3) 海底コア 609 地点のプランクトン, 4) 氷河性堆積物, 5) 南大洋の海洋循環指標, 6) 中国の降水の指標, 7) 南極氷床気温指標, 8) 酸素同位体比の指標 (Grant et al, 2014 Nature, NGRIP, 2004, Nature, Obrochta, 2014, EPSL, Capron, 2010, CP, Liesicki and Raymo, 2005, Paleoclean.)

ネアンデルタール人の成長・発達と栄養生態

山内太郎（やまうち たろう）

北海道大学大学院・保健科学研究所・教授

限られた化石資料から 20～5 万年前のネアンデルタール人やホモ・サピエンスのライフスタイルを推測するのは非常に困難であるが、「身体」、「栄養」、「運動」、そして「生活史（ライフヒストリー）」の観点から両者を比較してネアンデルタール人の絶滅の謎に迫ってみたい。「交替劇」の鍵となるエネルギー適応戦略について、1 日のエネルギーバランス（エネルギー消費量と摂取量）、そして狩猟活動を含め、あらゆる運動の基礎となる歩行のエネルギーコストに焦点を当てて考察する。

1 日にどのくらいのエネルギー（カロリー）を必要とするかは、どのくらいのエネルギーを消費するかによって決まる。1 日のエネルギー消費量（TEE）は、基礎代謝量（BMR）、食物産生熱量（DIT）、そして運動由来のエネルギー消費量（PAEE）の 3 要素から構成される（図 1）。ネアンデルタール人は寒冷地域に居住しており、寒冷適応のため BMR が高いと考えられる。また、ホモ・サピエンスに比べて筋肉量が多いと考えられている。BMR は筋肉量に比例するので、寒冷適応と合わせて、ネアンデルタール人の BMR は同じ体重のホモ・サピエンスよりも相当高いものと推測される。BMR が高いとエネルギー消費量（ $TEE = BMR + DIT + PAEE$ ）も高くなる。TEE とバランスする摂取エネルギー（エネルギー摂取量：TEI）が必要なので、ネアンデルタール人の栄養必要量はホモ・サピエンスに比べて高いと考えられる。ネアンデルタール人とホモ・サピエンスの狩猟効率（時間当たりの獣肉獲得量）は同程度と仮定すると、単純計算では、ネアンデルタール人は必要とするエネルギーを確保するためにホモ・サピエンスの 1.5 倍程度の時間を狩猟活動に従事しなければならなかったと推計される（図 1）。

ネアンデルタール人はホモ・サピエンスに比べて脚が短く、体重が重いと考えられている。歩行のエネルギーコストは「ある距離を移動するのに要する歩数」といえる。つまり脚の長さや体重が強く影響する。脚が短く、体重が重いネアンデルタール人の歩行のエネルギーコストはホモ・サピエンスに比べて 30% も高かったという推定もある。また、歩行のコストが高いネアンデルタール人の狩猟活動半径は、相対的に小さかったと推測される。

本講演では、ネアンデルタール人とホモ・サピエンスのエネルギー適応に加えて、両者の生活史（ライフヒストリー）についても比較を行う（図 2）。ネアンデルタール人の成長・発達はどうであったのかを大胆に推測し、個体／集団レベルでのエネルギー適応戦略について考えてみたい。

1日のエネルギー消費量:

$$TEE = BMR(\text{基礎代謝}) + DIT(\text{食事}) + PAEE(\text{運動})$$

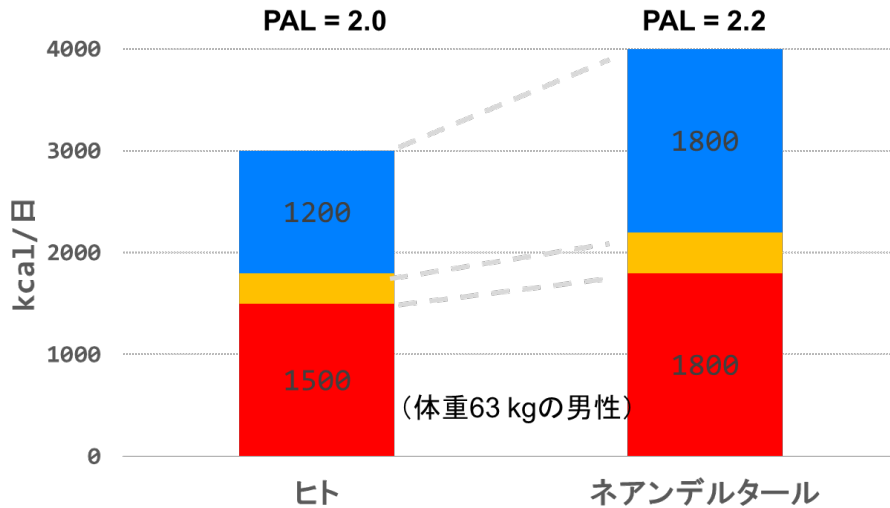


図1 ホモ・サピエンス（ヒト）とネアンデルタール人のエネルギー消費量

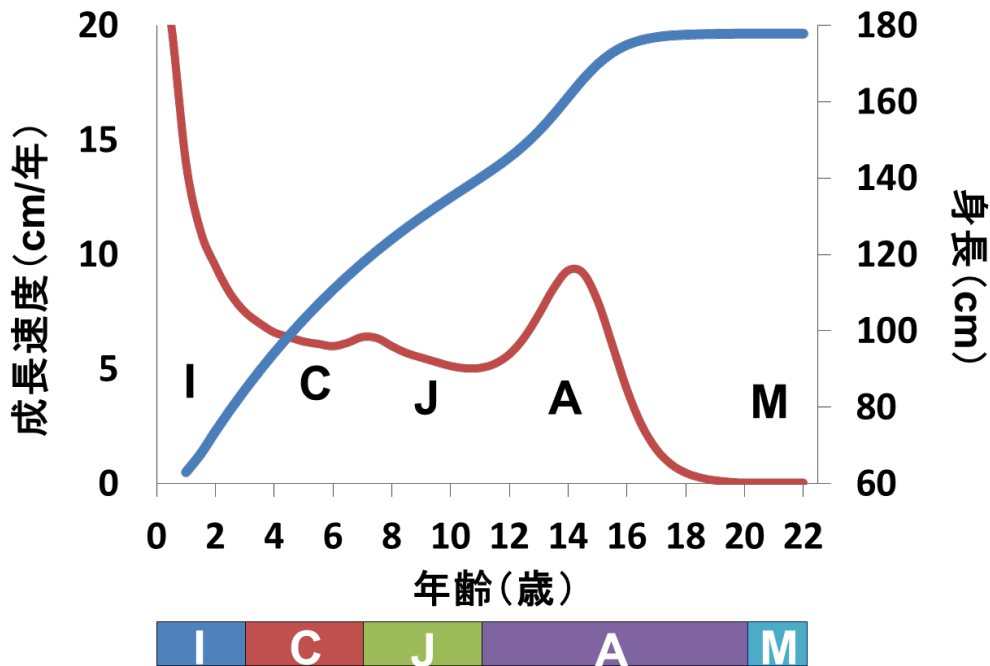


図2 ヒトの成長曲線（身長）と生活史

I: infancy (乳児期), C: childhood (子ども期), J: juvenile (学童期), A: adolescence (思春期), M: mature adults (成人期).

ゲノム研究は旧人・新人間の学習能力の違いに切り込めるか？

木村亮介（きむら りょうすけ）
琉球大学大学院・医学研究科・准教授

近年のゲノム解析技術によってもたらされた“革命”は様々な分野に及んでいる。ヒトの進化を知る上では、古代人類のゲノムを復元できるようになったことは非常に重要な革命である。これまではゲノムを比較することが可能な最も近い種はチンパンジーであったが、ネアンデルタール人などの古代人類のゲノム情報によって、人類進化の歴史をより鮮明に映し出すことができる。古代人類のゲノムから得られる情報は大きく分けると、①集団サイズの変遷や移動・混血などデモグラフィに関する情報と、②過去における表現型と現在に至る進化に関する情報がある。

古代人類ゲノムによって得られたデモグラフィに関する知見をまとめると次のようになる（図1）（Green et al. 2010; Reich et al. 2010; Meyer 2012; Prüfer et al. 2014）：

- 1) チンパンジーとヒトの分岐を 650 万年前とすると、ネアンデルタール人とヒトの分岐は 27 – 38 万年前。
- 2) デニソワ人（アルタイ山脈のデニソワ洞窟で発掘された 3-5 万年前の骨）はネアンデルタール人と別の古代人類（おそらくホモ・エレクトス）との混血。
- 3) 出アフリカ集団には 1.5–2.1% 程度のネアンデルタール人のゲノムが流入（現代の非アフリカ人にはネアンデルタール人由来のゲノムが数%存在）。パプアニューギニア人やオーストラリア先住民などのオセアニア集団には、デニソワ人様のゲノムが 4–6% 程度流入（図2）。
- 4) ネアンデルタール人は、その集団サイズを出アフリカ後から減少させ、ヒトの出アフリカの後に絶滅（あるいは吸収）（図3）。
- 5) アルタイのネアンデルタール人では近親交配の痕跡を観察。

ヒトがネアンデルタール人と分岐後にどのような独自の進化を遂げたのかについて知るために、ヒトゲノムに刻まれた自然選択の痕跡も調べられている。ネアンデルタール人と分岐後に起きた突然変異が急速にヒト集団全体に広まった例や、ネアンデルタール人からヒトに流入した遺伝子が自然選択を受けた例などが報告されている。現代のチベット人にみられる *EPST1* 遺伝子の高地適応変異は、デニソワ人由来であったことが示されている（Huerta-Sanchez et al. 2014）。また、ゲノムによる古代人類の復元も一部進んでいる。例えば、色素形成に関与する *MC1R* 遺伝子に機能を減退させる変異がみられたことから、ネアンデルタール人の肌は淡い色であったことなどが推測されている（Lalueza-Fox et al. 2007）。しかしながら、現状では古代人類の表現型の復元には限界がある。今後、ゲノムワイド関連解析や遺伝子改変動物実験などによって、ゲノム配列と表現型との関連のより詳細な解明が待たれる。

ヒトとネアンデルタール人との間には学習能力、特にイノベーション能力に違いがあったのだろうか？それを立証する手立ては、ゲノム研究において他にないだろう。ただし、学習能力や認知能力に関連する遺伝子領域がどこなのかすら十分な知識がない現在、その実証までには多くのステップを踏む必要がある。そう遠くない将来、両種の間には学習能力や認知能力の違いがあれば、それを示唆するような研究成果が得られるはずである。

ヒトとネアンデルタール人との間に学習能力の違いがあったかはさておき、人類の系統がどこかの段階で類人猿とは比べ物にならない高度な学習能力を獲得したことは間違いない。そのきっかけは何であったのか？この問いも人類進化を考える上で非常に重要である。人類の脳化は石器の出現と時代を同じくしており、学習能力の進化と道具の使用が密接に関連していることが示唆されている。そして我々は、ヒトに特徴的なもうひとつの行動である協力・分配行動に焦点をあて、イノベーション行動の進化との関連を理論的に探っている。その結果、模倣戦略者の存在下ではイノベーション行動や能力が単純に正の選択を受けて集団中に広まるわけではないことや、協力・分配行動なしにはイノベーション行動は維持されないことなどが示唆された。さらに、協力・分配を行う範囲（人数）が集団中のイノベーション行動者の数、ひいては文化の進化速度を決めることも示唆された。このような理論研究の成果とゲノム研究の成果を併せ、新たに見えてくる交替劇のシナリオについて考えたい。

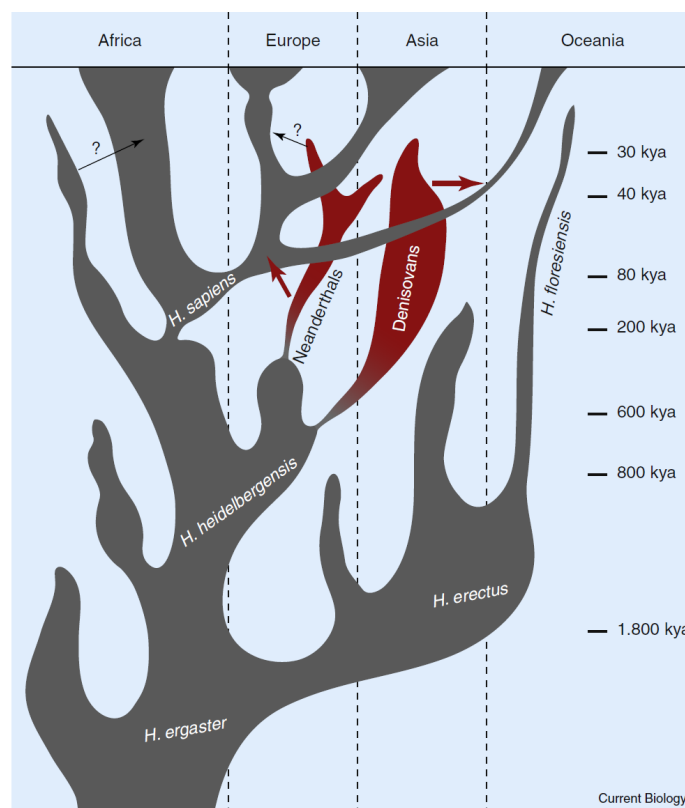


図1 人類の進化系統
(Lalueza-Fox and Gilbert, Current Biology 2011)

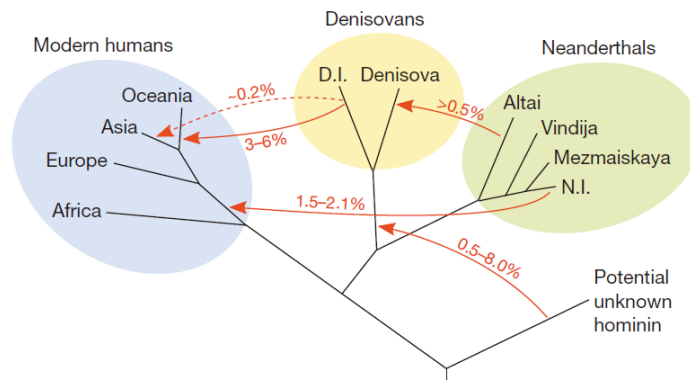


図2 更新世人類における遺伝子流動
(Prüfer et al., Nature 2014)

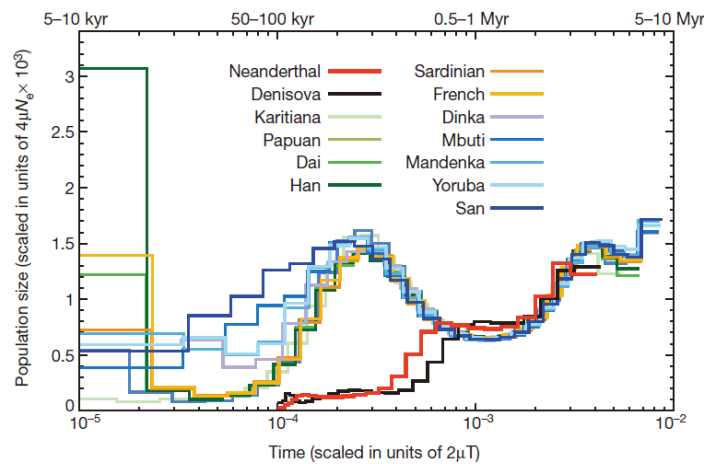


図3 現生人類および古代人類の集団サイズの変遷
(Prüfer et al., Nature 2014)

引用文献

- Green RE, Krause J, Briggs AW, et al. (2010) A Draft Sequence of the Neandertal Genome. *Science* 328:710–722. doi: 10.1126/science.1188021
- Huerta-Sánchez E, Jin X, Asan, et al. (2014) Altitude adaptation in Tibetans caused by introgression of Denisovan-like DNA. *Nature* 512:194–197. doi: 10.1038/nature13408
- Lalueza-Fox C, Gilbert MTP (2011) Paleogenomics of Archaic Hominins. *Current Biology* 21:R1002–R1009. doi: 10.1016/j.cub.2011.11.021
- Lalueza-Fox C, Rompler H, Caramelli D, et al. (2007) A Melanocortin 1 Receptor Allele Suggests Varying Pigmentation Among Neanderthals. *Science* 318:1453–1455. doi: 10.1126/science.1147417
- Meyer M, Kircher M, Gansauge MT, et al. (2012) A High-Coverage Genome Sequence from an Archaic Denisovan Individual. *Science* 338:222–226. doi: 10.1126/science.1224344
- Prüfer K, Racimo F, Patterson N, et al. (2014) The complete genome sequence of a Neanderthal from the Altai Mountains. *Nature* 505:43–49. doi: 10.1038/nature12886

2015年2月7日 発行

編集：佐野勝宏

発行：文部科学省科学研究費補助金・新学術領域研究「交替劇」(2010-2014)

108-0032 東京都港区芝浦 3-3-6 CIC 東京 302

印刷：大学生協プリントオンデマンドセンター