

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2010～2014

課題番号：22101005

研究課題名（和文）旧人・新人時空分布と気候変動の関連性の分析

研究課題名（英文）Reconstructing the distribution of Neanderthal and Modern Humans in time and space in relation to past climate change

研究代表者

米田 穰 (YONEDA, Minoru)

東京大学・総合研究博物館・教授

研究者番号：30280712

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 89,600,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、全球大気・海洋モデルによって古気候分布を復元し、旧人と新人の分布変動と比較検討することで、気候変動が交替劇に及ぼした影響を検証した。そのため、既報の理化学年代を集成して、前処理や測定法による信頼性評価を行い、系統的なずれを補正して年代を再評価した。この補正年代から、欧州における旧人絶滅年代が4.2万年であり、新人の到達（4.7万年前）とは直接対応しないと分かった。学習仮説が予測する新人の高い個体学習能力が、気候回復にともなう好適地への再拡散で有利に働き、旧人のニッチが奪われたものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this research project B02, we compare between the climate and the distribution of Neanderthal and Modern Humans, in order to evaluate the climatic impact on the replacement of humans. We archive published data on geochronological data and improve their accuracy and precision in comparison with new measurement technique (AMS) and pre-treatments (e.g. ultrafiltration and wet oxidation). According to improved data sets, we estimate the termination of Neanderthal in Europa at ca. 42 ka, which was substantially earlier than the first dispersal of Modern Human to Europe around 47 ka. It is reasonable that Modern Humans who have higher ability in individual learning can recover more preferable area during the period with short and drastic climate change cycles.

研究分野：年代学・先史人類学

キーワード：人類進化 年代学 気候変動 地球化学 地球物理 GIS 生態ニッチモデル

1. 研究開始当初の背景

ネアンデルタールをはじめとする旧人と新人ホモ・サピエンスの交替劇は、更新世の寒冷化がすすむ気候変動が激しい時代状況のなかで起こったと考えられていたが、気候変動の影響がなぜ旧人の絶滅に結びつき、新人は生き延びることができたのか、具体的な証拠に基づいた議論はなされていなかった。その理由のひとつは、高解像度の気候変動が氷床コアや鍾乳石など、年縞やウラン系列年代などによって絶対年代が決定された資料から復元されているのに対し、旧人の絶滅や新人の拡散の証拠となる考古学遺跡の年代決定は、放射性炭素年代に依拠しており、後者については大気中の放射性炭素濃度の変化によって数千年ずれていることが知られていた。本研究計画を申請した 2009 年に、国際研究チームによって、放射性炭素年代のずれを 5 万年まで較正できるデータセット IntCal09 が公表され、高精度な環境プロキシと考古学イベントを同じ年代軸で比較検討することが可能となった。また、オックスフォード大学考古学・美術史研究所を中心に、ヨーロッパにおける交替劇の鍵となる遺跡の年代の再測定が系統的に進められており、交替劇の時代状況が明らかになりつつあった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、先行研究の多くがひとつの遺跡や地域に着目して、交替劇に対する気候変動の影響を評価しようと試みているのに対して、新人と旧人の分布に関する広範囲なデータベースを構築し、その分布範囲の変動を気候変動の文脈で解釈することで、およそ 1.5 千年と非常に短い期間で変動を繰り返した当時の不安定な環境に対して、旧人と新人がどのように対応したのか、その対応能力の違いが両者の命運をどのように分けたのか、対応能力の違いは生得的な学習能力の相違によって説明可能であるか、という視点

で、研究領域 B01 が理論生物学から提案する「学習仮説」を検証することを目的とした。さらに、学習仮説の理論では、異所的な環境に拡散することによって個体学習者の割合が上昇することが予想されたので、旧人と新人が適応した環境の幅について比較検討を行った。

3. 研究の方法

具体的には、地球物理学・地球化学分野の研究者と考古学・年代学の研究者がチームを組むことで、交替劇に関する時代状況を客観的なデータとして抽出することを試みた。研究内容は主に次の 3 テーマから構成される。(1) 放射性炭素年代データベースの構築、(2) 全球シミュレーションを用いた交替劇期に係る古気候地図の作成、(3) 地理情報システム (GIS) を用いた分布変動と関連する気候・地理要素を抽出する方法の開発、である。それぞれの研究テーマは、年代学や地球科学、文化財科学の分野で基礎的な研究が行われてきたが、人類進化や石器文化伝統の時代変遷という枠組みでは国内の研究は皆無であり、いずれも日本で初めての試みとなった。

(1) 放射性炭素年代データベースの構築

上述のように、放射性炭素年代については較正データベース IntCal09 を用いて、5 万年にまで考古学遺跡の放射性炭素年代を構成することが可能となった。そこで、van Andel and Davies (2004) によって集成された放射性炭素年代データベースをもとに、2010 年度から 2012 年度にかけてその後に報告された中期旧石器から後期旧石器の理化学年代について、主要雑誌からデータを抽出し、理化学年代に関するデータベース (NearDat DB) を構築した。さらに、研究領域が構築した石器製作伝統に関するデータベース (NearDB) から、遺跡報告書などで報告されている理化学年代のデータも統合して、欧州を中心とする理化学年代のデータベース

を構築した。各遺跡における年代をより高精度にするために、問題のあるデータを排除するための基準を作成し、また系統的な変動が存在する場合はそれを補正し、適切な誤差を与える方法を開発することとした。

(2) 全球モデルシミュレーションを用いた古気候地図の作成

全球の大気海洋結合モデル MIROC を用いたシミュレーションは、将来の地球温暖化を予測するために高精度化が図られており、その検証のためにも、古環境をより正確に復元する技術が検討されてきた。本研究では、これまでモデルに組み込まれてこなかった氷床量を統合し、大気・海洋・氷床結合モデルに拡大することで、より正確な気候復元を試みた。さらに、全球モデルでは復元することができていない、千年スケールの急激な気候変動について、海洋の熱塩循環の停止による変動であると仮定して、海水の沈み込みがおこる大西洋北部に真水を添加することで、亜氷期が復元出るかを試みる。これによって、交替劇期の特徴である急激な気候変動の実態、とくに氷期と亜氷期の間で気候変動の比較的大きかった地域と、比較的小さかった地域を抽出することを試みた。

さらに、気候変動が直接的に人類に影響をおよぼすのではなく、食料資源である動植物に対して影響を与えられ、全球モデルに生態モデルを統合して、交替劇期の氷期・亜氷期における植生分布について、公募研究として研究を行った

(3) GIS を用いた分布変動と関連する気候・地理要素の抽出

遺跡年代のデータベースに基づき、気候変動にともない旧人と新人の分布域がどのように変化したかを調べるため、GIS ソフト ArcGIS と放射性炭素年代較正ソフト OxCal を用いて、遺跡の存在確率を地図上に表示する方法を開発する。この GIS データを、全球モデルシミュレーションによって計算され

た古気候分布図といくつかの年代ステージで比較することによって、分布変動に係わる気候要素（年平均気温、最寒月平均気温、最暖月平均気温、年平均降水量）地理要素（標高、傾斜方向、傾斜角）と比較検討した。これによって、旧人と新人がどのような環境に適應することができたのか、両者の生態学的ニッチは教護したのかを検証することが可能となり、交替劇によってそれが変動したかを検証することで、旧人の絶滅要因と旧人と新人の適應能力の差異について検証し、最終的には学習モデルに関する実証的データを提供することとした。

4. 研究成果

(1) 放射性炭素年代データベースの構築

放射性炭素年代に着目すると、加速器質量分析（AMS 法）による測定と線による測定法の双方がふくまれており、また前処理についても従来から行われている前処理方法（骨のゼラチン化や木炭の AAA 処理）によるデータと、新たに考案された前処理方法（骨コラーゲンの限外ろ過、木炭の湿式酸化・段階燃焼法）も含まれている。測定法と前処理方法について、それぞれ系統的な比較検討を行い、測定法については AMS 法を用いたものに限定すること、前処理法については従来法に適切な系統誤差を与えて処理することで、新規前処理法と比較可能なデータを得られることを確認した。この補正方法を用いることで、従来前処理方法を用いた膨大なデータを再活用することが可能となり、より広範囲で旧人と新人の分布範囲を調べることが可能となった。現在、ヨーロッパで進められている新規前処理方法を用いた年代の再検討は、応用されている遺跡や地域が限定されており、分布範囲や適應可能な気候条件の評価には十分とは言えないが、補正方法の開発によってこの問題を解決することに成功した。

これらの補正年代を、遺跡ごとの層序関係

を考慮してベイズ統計学を用いて解析することによって、遺跡データベースに登録された放射性炭素年代を用いて、交替劇に係る石器製作伝統の開始・終了年代を正確に評価するための方法の開発に成功した。この方法を用いて、研究項目 A01 と共同で、年代データベースが充実している欧州において、旧人の文化である中期旧石器の遺跡数減少が新人文化の到来に先立って起こっていること、それが必ずしも寒冷化イベントと時期的に一致しないことを示した。

また、旧人文化（ムステリアン、セレッツィアン）の終了年代が約 4.2 万年であり、個別遺跡の新規前処理方法によって評価された絶滅年代とほぼ一致する結果を得ることに成功した。新人がヨーロッパに到達した年代は、第 1 波（パチョキリアン、ボフニシアン）は 4.7 万年前、第 2 波（シャテルペロニアン、ウルツィアン）は 4.4 万年前、第 3 波（プロトオーリナシアン）は 4.3 万年前と評価された（図 1）。これは、新人の到達によって直ちにネアンデルタールが絶滅したのではないことを示唆しており、より革新的な技術であるプロトオーリナシアンの登場によって、寒冷化の進行とともに分布域を縮小させていた旧人が、完全にニッチを奪われたことを示している。これは、交替劇の詳細についてこれまでに議論されてこなかった高精度なものであり、数多くの年代を応用した本研究のアプローチによって初めて評価できたといえる。

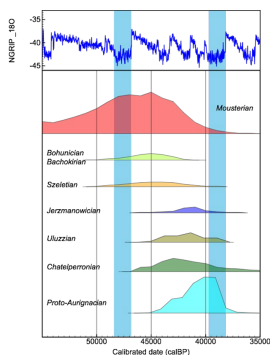


図 1 . 理化学年代データベースに補正を加えて評価した旧人文化の終了年代と、新人文化の到達年代。

さらに、遺跡データベースをつかって、遺

跡ごとの較正年代の確率分布を人間活動のプロキシとして、放射性炭素較正年代の確立分布を応用する方法を検討した。この方法については、上記の従来法による年代補正を実施することによって、データ精度が 1000 年スケールの気候変動よりも大きくなるという問題が明らかになり、気候変動に対応する反応を検討することが困難であるという結果を得た。予備的な結果であるが、イベリア半島とイベリア半島以外のヨーロッパで旧人文化（ムステリアン）の遺跡存在確率と、新人文化（シャテルペロニアン、ウルツィアン、プロトオーリナシアン）の遺跡存在確率を比較すると、両地域では交替劇の時期にあまり差がないが、プロトオーリナシアン以前の移行期とされる新人文化はイベリア半島には少なかった様相が示された。どちらの地域でも新人の人口増加と旧人の人口減少には時間差があり、旧人の人口減少は気候寒冷化によって進行しており、そこに新人が拡散してきたことによってとどめが刺された様相が見て取れる。

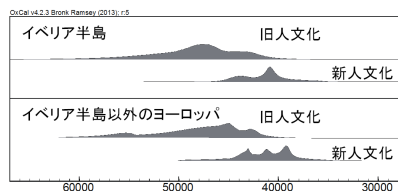


図 2 較正放射性炭素年代の確率分布から推定したイベリア半島とそれ以外のヨーロッパにおける旧人と新人の人口動態 (2) 全球モデルシミュレーションを用いた古気候地図の作成

新たに氷床の増減を加えた大気・海洋・氷床結合モデルによって古気候変動を復元したところ、これまで復元することができなかった 10 万年周期での氷期・間氷期サイクルを復元することに世界で初めて成功した。この成果は、研究分担者阿部を筆頭著者として Nature 誌に掲載された (Abe-Ouchi et al. 2012)。

さらに、北大西洋に淡水を添加することによって、比較的負荷の小さな条件で亜氷期の古気候を効率よく復元することに成功した。亜氷期と亜間氷期の気温を比較すると、欧州主要部では3℃以上の大きな寒冷化があるのに対して、サハラ以南アフリカでは0.5℃程度の温暖化がみられ(図3)、交替劇期の気候変動は新人が進化したアフリカよりも、旧人が進化したヨーロッパで激しかったという、予想とはことなる結果を得た。

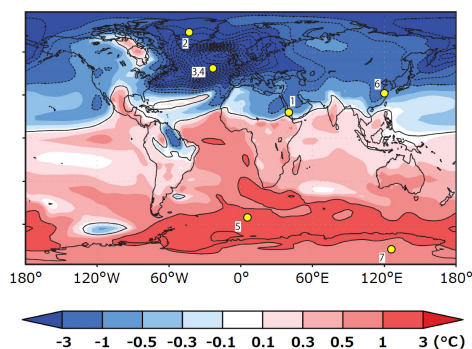


図3. 淡水を添加することで復元した亜氷期と亜間氷期における年平均気温の差

この気候変動によってもたらされた植生の影響をみると欧州主要部では、亜氷期に森林が減少して草原が増加する傾向があるのに対し、イベリア半島では植生が現象して、裸地が増加している可能性が示された。

上記の年代学的な検討で得たデータを考古学的な文脈で解析するために、研究項目A01と共同で、遺跡・石器文化伝統の存続年代の空間的分析を評価し、気温や降水量などの気候条件と標高や傾斜などの地形条件が旧人と新人の分布に与えた影響を評価した。そのために、GISを活用して生態学ニッチモデルと応用する研究を展開した。この研究に必要な高分解能気候データは、全球モデルを基礎とした古気候シミュレーション実験を行い、従来の地球環境研究では100 kmスケールでの全球モデルを、考古学的な議論に耐えうる10 kmスケールに高分解能化するための技術開発を行った。具体的には、現代の詳細な気象データを参照して、広域グリッド

の平均値との差分を外挿する方法で、ある程度妥当な高解像度化に成功した。また、1000年スケールで激しく変動する気候に対応するために、代表的な亜氷期と亜間氷期の気候分布図をシミュレーション実験によって作成し、GISによる考古学的なデータとの比較研究に用いた。さらに、この気候図から植生を復元し、地域の環境を表す具体的なデータである花粉分析との比較研究を、招待研究として実施した。

当初は、亜氷期と亜間氷期にみられる遺跡・石器文化伝統の地理的分布の相違と、気候条件の相関関係をGISによって比較検討する計画であったが、放射性炭素年代の補正のため個別の遺跡継続年代が数千年の精度となったため、1000年スケールの急激な気候変動に対する旧人と新人の応答の相違については時間解像度が不十分であるという結論を得た。そこで、方針を若干変更し、比較的長期間にわたって両者が各遺跡に生息していたとして、それぞれの人類種が生息することが可能だった生態環境を、亜氷期と亜間氷期における生態学ニッチモデルを拘置して、5.0-4.5万年前(旧人のムステリアンのみ)、4.5-4.3万年前(旧人文化のムステリアンと新人文化のシャテルペロニアン・ウルツィアン)、4.3-4.0万年前(旧人文化のムステリアンと新人文化のプロトオーリナシアン)の3つのステージで、旧人と新人それぞれの石器製作伝統に対して分布を制限する主要因の評価を行った。その結果、もともと旧人と新人は類似した環境を好んで生息していたことが示された(4.5-4.3万年前の比較)。しかし交替劇最終局面(4.3-4.0万年)では、ネアンデルタールのみ生息環境を大きく変化させることが示された。プロトオーリナシアンをもった新人はそれ以前と同様の環境に暮らしたにもかかわらず、旧人はいよる寒く、急峻な高地に生息環境が限られることが分かった。

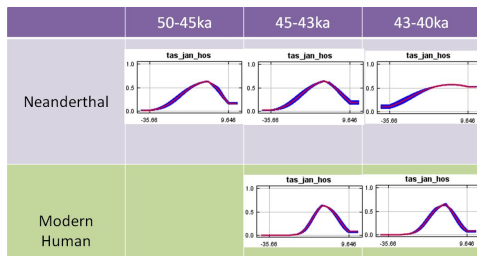


図6. 生態学ニッチモデルで示された旧人と新人の生息域における最寒月平均気温。4.3-4.0万年で旧人がより寒い環境に追いやられた様相が示された。

以上から、急激な環境変動の繰り返しによって旧人は新人にニッチをうばわれて絶滅に至ったと考えられる。非常に急激な気候変動だったため、より個体学習を積極的に行う新人がよりはやく好適地に回復することが可能であり、競合種がいなかったときは徐々に分布を回復することができた旧人のニッチを奪ったものと考えられる。もしも学習仮説が提唱するように、新人では個体学習者の割合が高かったとすれば、急激な気候変動が千年スケールの短期間で繰り返されたことによって、旧人のニッチが奪われたという今回復元された交替劇の時代状況と矛盾しない。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 119 件)

1. Obrochta S.P., Crowley T.J., Channell J.E.T., Hodell D.A., Baker P.A., Seki A., Yokoyama Y. (2014) Climate variability and ice-sheet dynamics during the last three glaciations. *Earth and Planetary Science Letters* 406:198-212. DOI: 10.1016/j.epsl.2014.09.004. 査読有
2. Abe-Ouchi A., Saito F., Kawamura K., Raymo M.E., Okuno J.i., Takahashi K., Blatter H. (2013) Insolation-driven 100,000-year glacial cycles and hysteresis of ice-sheet volume. *Nature* 500:190-+. DOI: 10.1038/nature12374. 査読有
3. O'Ishi R., Abe-Ouchi A. (2013) Influence of dynamic vegetation on climate change and terrestrial carbon storage in the Last Glacial Maximum. *Climate of the Past* 9:1571-1587. DOI: 10.5194/cp-9-1571-2013. 査読有

〔学会発表〕(計 108 件)

1. Kondo Y., Sano K, Kadowaki S, Naganuma M, Omori T, Yoneda M., Nishiaki Y “Assessing environmental factors to the replacement of Neanderthals by modern humans in terms of eco-cultural niche modelling.” European Geoscience Union General Assembly 2014, 2014年5月2日、ウィーン(オーストリア)
2. Abe-Ouchi A., Chan W-L, O'Ishi R., Obrochta S., Yokoyama Y., Kondo Y., Yoneda M. “Challenge of modelling the climate of the last glacial-interglacial cycle and millennial climate change as a background of evolution of Modern Human.” European Geoscience Union General Assembly 2014, 2014年5月2日、ウィーン(オーストリア)

〔図書〕(計 1 件)

1. 米田 穰・阿部彩子・横山祐典 (2013). 環境変動と人類の進化. 「図説 地球環境の事典」pp. 32-33 (全 378 頁), 朝倉書店.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

米田 穰 (Minoru YONEDA)

東京大学・総合研究博物館・教授

研究者番号: 30280712

(2) 研究分担者

阿部 彩子 (Ayako ABE-OUCHI)

東京大学・大気海洋研究所・准教授

研究者番号: 30272537

小口 高 (Takashi OGUCHI)

東京大学・空間情報科学研究センター・教授

研究者番号: 80221852

森 洋久 (Hirohisa MORI)

国際日本文化研究センター・文化資料研究企画室・准教授

研究者番号: 10282625

丸川 雄三 (Yuzo MARUKAWA)

国際日本文化研究センター・文化資料研究企画室・准教授

研究者番号: 10390600

川幡 穂高 (Hodaka KAWAHATA)

東京大学・大気海洋研究所・教授

研究者番号: 20356851

横山 祐典 (Yusuke YOKOYAMA)

東京大学・大気海洋研究所・准教授

研究者番号: 10359648

近藤 康久 (Yasuhisa KONDO)

総合地球環境学研究所・研究高度化支援センター・准教授

研究者番号: 90599226