



令和3年8月4日

各報道機関 御中

国立大学法人 山梨大学
独立行政法人 国立科学博物館
国立大学法人 山形大学

本州にかつて生息していたヒグマの起源の解明

山梨大学医学部総合分析実験センター 瀬川高弘講師、東京工業大学生命理工学院 西原秀典助教、国立科学博物館地学研究部 甲能直樹グループ長らの研究グループは、東京農業大学農学部 米澤隆弘准教授、国立遺伝学研究所情報研究系ゲノム多様性研究室 森宙史准教授、国立極地研究所 秋好歩美学術支援技術専門員、国立科学博物館 甲能純子協力研究員、山形大学 学術研究院（理学部主担当） 門叶冬樹教授らのチームと共同で、本州から発掘されたヒグマの化石の放射性炭素による年代測定とミトコンドリア DNA の解析を行いました。その結果、本州産ヒグマ化石から古代DNAの抽出に初めて成功し、その起源と渡来の歴史を明らかにしたと発表しました。ヒグマは体長が3mに達する日本列島最大の哺乳類で、現在の日本列島では北海道だけに分布していますが、かつて本州には北海道の個体よりも遙かに大きいヒグマが生息していました。本研究において本州のヒグマ化石は、3万2,500年前と1万9,300年前（後期更新世）に生息していた個体であることが明らかになりました。そして、古代DNA解析により本州のヒグマが14万年程前にユーラシア大陸北部から本州に到達した古い系統に属する未知の集団だったこと、また前後の時代の化石記録から本州には少なくとも34万年よりも古い時代と14万年程前の2回にわたってユーラシア大陸から本州に渡来していたことが明らかとなりました。

概要

現在の日本列島ではヒグマ (*Ursus arctos*) は北海道にしか生息していませんが、更新世の化石記録からはかつてヒグマが本州全域に生息していたことや、北海道の個体よりも遙かに大きかったことが分かっています (図1)。しかし本州のヒグマがどのような系統で、いつどこから来たのかといった、ヒグマの進化の歴史についてはほとんど分かっていませんでした。

そこで本研究では、本州から産出したヒグマの化石から放射性炭素による年代測定と安定同位体の分析ならびに古代DNAの抽出をおこないました。年代測定の結果から、本研究で用いた2つの本州のヒグマ標本はそれぞれ3万2,500年前と1万9,300年前の個体であ

ることがわかりました。また、炭素・窒素の安定同位体比の結果から、本州のヒグマは肉食性が強かったことが示されました。さらに、ミトコンドリア DNA 分析の結果、本州のヒグマは現生のヒグマとは独立した集団であり、その姉妹系統が現在の北海道南部のグループであること、またそれらと分岐した時期が約 16 万年前であることがわかりました。

さらに、この分岐年代と化石記録から、ヒグマがユーラシア大陸から本州に少なくとも 2 回渡来したことがわかりました。1 回目に渡来したヒグマ集団は世界のヒグマの中でもかなり古く 34 万年以上前には分岐していた系統で、2 回目の渡来集団は約 14 万年前の寒冷期に起こった海面低下に伴って北海道を経由して本州に移動してきたと考えられます。日本における哺乳類の種ごとの分布の消長が海面変動によってどのように影響を受けたかについて、これまでほとんど分かっていませんでしたが、本研究により、度重なる氷期の海面低下により、これまで考えられていたよりも頻繁に同じ種の大型哺乳類が移動してきたことを示しました。

本研究は、更新世の日本列島における大型哺乳類の繁栄と絶滅、そして氷期の環境変動が哺乳類の多様性に与えた影響を理解する上で、極めて重要な知見になると期待されます。

背景

現在の本州に生息する陸生大型動物は、ニホンジカ、ニホンカモシカ、ツキノワグマの僅か 3 種類しかいません。しかし、後期更新世以前 (1 万 2000 年以前) の本州には、ヒグマ、バイソン、オーロックス、オオツノジカ、ヘラジカ、トラ、ナウマンゾウといった多様な大型哺乳類が生息していたことが化石記録から分かっています。それらはユーラシア大陸に生息する集団とどのような遺伝的關係にあったのか、またいつどのような経路で渡来したのか、そしてなぜ本州から絶滅したのか? このように大型動物の由来を理解することは、現在の日本列島の生物相の成り立ちを理解する上で必要不可欠です。

現在の日本列島ではヒグマは北海道にしか生息していません。しかし化石記録からは、34 万年前から 2 万年前にかけてヒグマが本州に広く分布していたことが知られています。大型肉食動物であるヒグマは日本列島の過去の生態系を理解する上で極めて重要な動物です。しかし断片的な化石からは、本州のヒグマがどの系統に属するのか、いつどの経路をたどって日本列島に渡来したのかは全く分かっていませんでした。

現在の北海道のヒグマは 3 つの系統 (道南、道東、道央―道西系統) に分けられることが知られており、それぞれの系統が独立に北海道に入ってきたと考えられています。したがって更新世にユーラシア大陸のヒグマがサハリン経由で北海道に到達する機会は何度もあったと考えられます。

ところが北海道と本州との間に位置する津軽海峡は現在の水深が -130m 前後と大変深いため、たとえ寒冷期における海水準低下にあっても陸橋が形成されてそこを渡れた可能性は低いと考えられています。また北海道と本州とでは現在の動物相が大きく異なることから、津軽海峡は動物相の分布境界線 (ブラキストン線) と呼ばれています。そのため、研究者の間では、北海道のヒグマはサハリン経由で、本州のヒグマは朝鮮半島経由で渡来した可能性が長く議論されてきました。

遺跡などから出土した過去の動物や古人骨から DNA を分析する古代 DNA 研究は、過去の動物や人類の系統や進化を知る上でとても有力な方法です。しかし日本は高温多湿かつ酸性土壌が多く、化石に残存している DNA の保存状態は極めて悪い環境にあります。そのため技術的な難しさから、日本の古代 DNA 研究は、世界と比べると大幅に遅れていました。本研究では最先端の古代 DNA 分析技術を駆使して、3 万 2,500 年前の化石から古代 DNA の分析に成功しました。これは日本国内最古の試料からの古代 DNA 研究になります。

研究成果

群馬県上野村と埼玉県秩父市から産出したヒグマ化石標本内部から無菌的に試料を採取し、放射性炭素年代測定、炭素・窒素の安定同位体比の測定、ならびに DNA の抽出と次世

代シーケンサーによる塩基配列の解読をおこないました。まず放射性炭素年代測定からはそれぞれ化石の年代が3万2,500年前と1万9,300年前（後期更新世後期）であることが明らかになりました。また安定同位体比の濃度分析から、本州のヒグマは肉食性が非常に強かったことが示されました。

3万2,500年前の化石標本から得られたミトコンドリアDNA情報について系統解析をおこなった結果、この本州のヒグマは北海道や他のどの地域にも知られていない未知なる系統であったことが分かりました。また、本州のヒグマはその姉妹系統である北海道南部のグループから約16万年前に分岐したことが分かりました。本州のヒグマの化石は34万年前（中期更新世＝チバニアン）のものが見つかっていることから、従来は本州のヒグマはそれより前に渡来して後期更新世まで生息し続けたと考えられてきました。しかし今回分析した本州ヒグマが道南グループと分岐したのが16万年前であったことから、34万年前のヒグマと3万2,500年前のヒグマは異なる系統であることが分かりました。このことは、本州にヒグマが少なくとも2回渡ってきたことを意味しています。一般にユーラシア大陸から本州への移住機会は少ないと考えられてきたため、これは極めて意外な結果となりました。すなわち、ユーラシア大陸から日本列島への大型哺乳類の移動は従来考えられていたより頻繁に起こっていた可能性が示唆されました。

さらに、本州のヒグマの移動ルートの推定もおこないました。ユーラシア大陸から本州へ移動できるルートとしては、北海道から津軽海峡を越えて本州に南下する経路、あるいは朝鮮半島から朝鮮海峡と対馬海峡を越えて九州そして本州へ移動する経路の2つが考えられます。本研究の統計的推定では、本州ヒグマと道南ヒグマの共通祖先がサハリン周辺に分布していたと推測されました。そのため、道南ヒグマの祖先集団がサハリンルートで北海道に入り、さらにその集団の一部が津軽海峡を渡って本州へ渡った可能性が高いことが示唆されました。

今後の展開

北海道と本州を隔てる津軽海峡は、ブラキストン線と呼ばれる生物相の重要な境界であり、更新世にそれを越えて移住した哺乳類はわずかな例外を除いて極めて少ないことが知られています。その例外的な事例が、14万年前ごろの海水準低下期に本州から北海道へ渡ったナウマンゾウとオオツノジカです。この年代は本研究で推定された本州ヒグマと道南ヒグマの分岐年代（15.8万年前）と極めて近いことが分かりました。そのため、14万年前の海水準低下期に陸地が極めて近づいた結果、ナウマンゾウとオオツノジカが北上すると同時に、ヒグマは北海道から本州へ南下した可能性が高いと推測されます。これは今回の古代DNA分析から明らかになった、従来考えられたことのない新しい仮説となります。

ヒグマの化石は本州から多数見つかっていましたが、34万年前の化石と今回の3万2,500年前の化石が直接的な祖先・子孫の関係にない全くの別集団である可能性は、これまで想像すらされていませんでした。しかし本研究から、更新世の日本列島では系統の古い動物が島弧に隔離されるたびに島弧内で繁栄し、一方で哺乳類の渡来は従来考えられてきた以上に頻繁にあったことが明らかになりました。今回の成果は、放射性炭素年代法による厳密な年代決定と近年飛躍的に発展した古代DNA分析技術を古い更新世の化石に応用できたことで得られた成果と言えます。一方で日本列島は世界でも特殊な地理的環境にあり、ユーラシア大陸と基本的に隔離された島弧であるものの、寒冷期の海水準低下の時期のみ大型哺乳類の渡来が可能になります。特に食物連鎖の頂点に近い大型肉食哺乳類の度重なる渡来は、当時の本州の生態系に多大な影響を及ぼしたと考えられます。このように、今後、日本列島における更新世の様々な哺乳類の移動と絶滅史を明らかにすることで、氷河期の環境変動が現在の日本列島の哺乳類の多様性にどのような影響をもたらしたのかを明らかにすることに繋がると期待されます。

用語説明

(1) 古代 DNA 解析

化石など古い時代の生物に由来する標本に残された微量の DNA 配列を解析する手法。近年の古代 DNA 解析技術の発展により様々な絶滅生物や古人類の進化系統解析に用いられるようになってきた。ただし、古代 DNA がどれほど良い状態で残っているかは標本の保存状態に大きく左右される。

(2) 次世代シーケンサー

数億に及ぶ DNA 断片配列を高速に決定できる装置。この機器を用いることにより古い化石標本に残された微量 DNA の配列を決定することが可能となる。

(3) ミトコンドリア DNA

細胞内小器官のミトコンドリアが独自に持つ DNA であり、ミトコンドリア DNA は母親から子へ母系遺伝する。塩基置換率が高いことから、系統解析および分岐年代推定によく用いられる

(4) 系統解析

塩基配列やアミノ酸配列の違いを統計的に比較解析することで、生物種間あるいは個体間の類縁関係を推定する解析のこと。

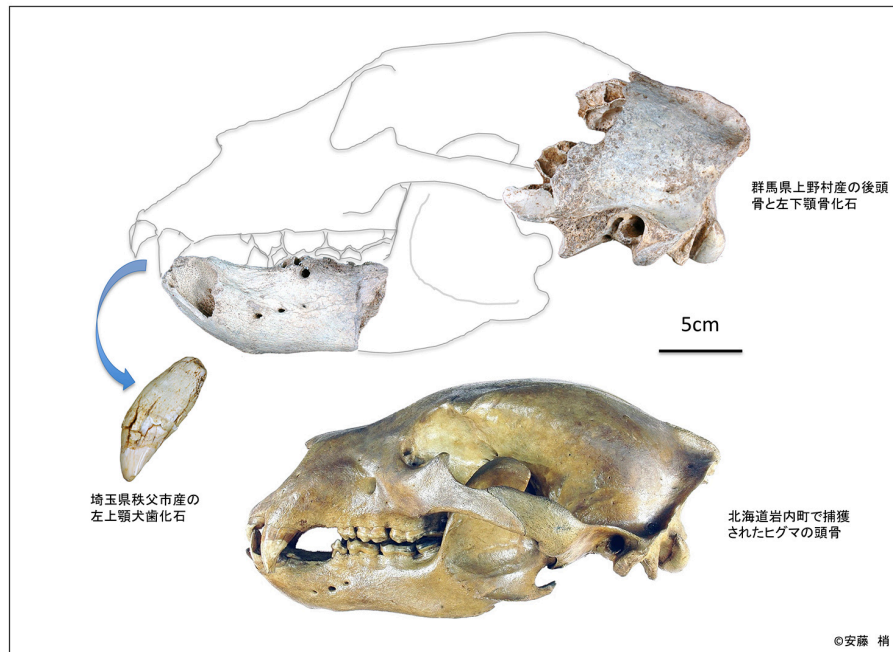
(5) 分岐年代推定

生物間の DNA 配列あるいはアミノ酸配列の違いを比較して、系統樹上の分岐した年代を推定する方法。

(6) 更新世

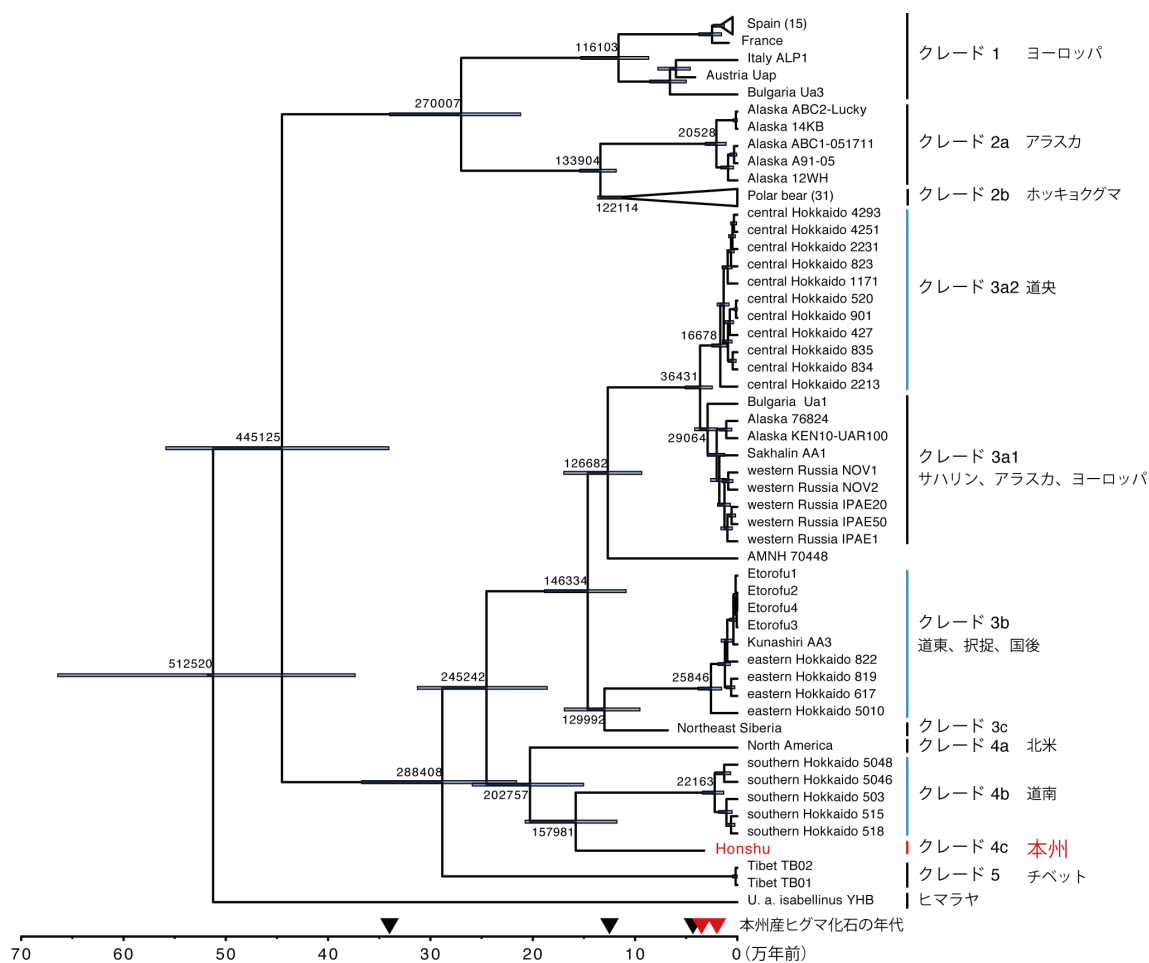
地質時代の区分の一つで、約 258 万年前～約 1 万 2 千年前までの期間。更新世はさらに細かい時代に分けられ、その最後の時代である後期更新世が約 13 万年前～1 万 2 千年前、その一つ前の時代であるチバニアン（中期更新世）が約 77 万年前～13 万年前である。

図 1 本研究で分析した本州に生息していたヒグマの標本写真



上：更新世後期に絶滅した本州ヒグマの雌個体（3 万 2,500 年前）。左中：本州ヒグマの雄個体（1 万 9,300 年前）。下：北海道南部に生息するヒグマの雌個体。（大きさの違いに注意）

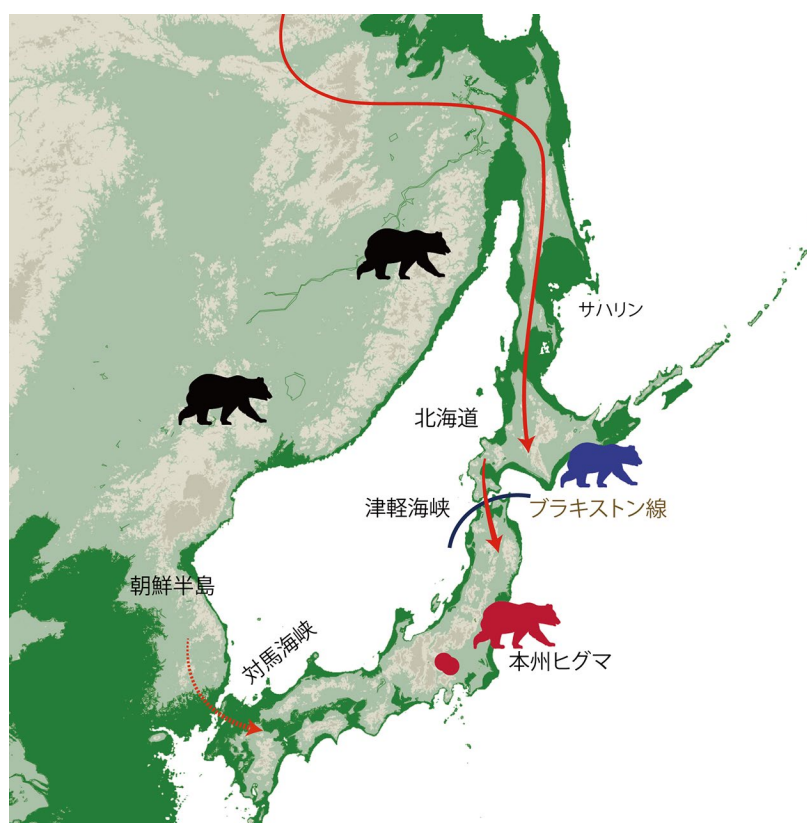
図2 本州ヒグマの系統的位置と分岐年代



ミトコンドリア DNA 解析に基づく系統樹。水色の縦線が北海道の現存個体群、赤色の縦線が本州の絶滅個体群を示す。赤字の▼印は分析した本州ヒグマの化石年代、黒字の▼印はこれまでに推定された本州ヒグマの化石の年代を示す。

図3 本州ヒグマの移動ルートの推定値

祖先集団が後期更新世以前にサハリンを経由して北海道に移動し(青熊)、その一部(赤熊)がさらに津軽海峡を南下して本州に入ってきた(赤実線矢印)。この図では、ヒグマが朝鮮半島を経由して移動した可能性も示してある(赤の破線矢印)。地図の緑の部分は大陸氷塊の蓄積により海面が120m低下した場合の陸域を示している。



公表論文

論文名 : Ancient DNA reveals multiple origins and migration waves of extinct Japanese brown bear lineages. (古代 DNA 解析が明らかにした日本列島のヒグマの系統的多起源性と複数回の渡来)

掲載誌 : Royal Society Open Science (英国王立協会オープンサイエンス誌) vol.8
<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsos.210518>

公表日時 : 日本時間 : 2021年8月4日(水)午後7時30分までに公表予定

著者 : Takahiro Segawa*, Takahiro Yonezawa, Hiroshi Mori, Ayumi Akiyoshi, Morten E. Allentoft, Ayako Kohno, Fuyuki Tokanai, Eske Willerslev, Naoki Kohno*, Hidenori Nishihara* (*責任著者)

本件に関する問い合わせ先

<研究に関する問い合わせ>

国立大学法人 山梨大学 総合分析実験センター 瀬川高弘
E-mail: tsegawa@yamanashi.ac.jp Tel: 055-273-9439

国立科学博物館 地学研究部 甲能直樹
E-mail: kohno@kahaku.go.jp Tel: 029-853-8196

東京工業大学 生命理工学院 西原秀典
E-mail: hnishiha@bio.titech.ac.jp

<報道に関する問い合わせ>

国立大学法人 山梨大学 総務部総務課広報企画室
Tel: 055-220-8006 Fax: 055-220-8799 E-mail: koho@yamanashi.ac.jp

国立科学博物館 研究推進・管理課 研究活動広報担当
Tel: 029-853-8984 Fax: 029-853-8998 E-mail: t-shuzai@kahaku.go.jp

国立大学法人 山形大学 総務部総務課秘書広報室
Tel: 023-628-4008 Fax: 023-628-4013 E-mail: koho@jm.kj.yamagata-u.ac.jp