技術報告

プロコンスル頭蓋骨の3次元形態モデリング

荻原直道¹⁾・中務真人¹⁾・中野良彦²⁾・石田英實³⁾

1) 京都大学大学院理学研究科動物学教室自然人類学研究室

2) 大阪大学大学院人間科学研究科

3) 滋賀県立大学人間看護学部

1. はじめに

東アフリカの中新世類人猿には、*Micropithecus*のように上顎の突出が短いものから、*Afropithecus*のように長く細いものまで存在し、頭蓋骨の形態が種間で多様に異なっていることが知られている (Harrison, 2002)。しかも、頭蓋骨の多様な形態パターンは、現生類人猿のそれと必ずしも一致せず (Pilbeam, 1996)、現生形態の特徴がモザイク状に表れている (Rae, 1997)。したがって、中新世類人猿の形態進化の進化傾向や系統関係を明らかにするためには、四肢骨や歯の機能形態学的分析とならんで、頭蓋骨の形態分析が重要であり、興味深い研究テーマの一つとなっている。

一般にこのような頭蓋骨の形態分析は、従来、特徴点間の長さや角度といったスカラーデータを計測し、多変量解析などの手法を用いることによって行われてきた。しかし近年、CTを用いた3次元形状計測、コンピュータグラフィクス技法を応用した形状処理、薄板スプライン手法などの3次元形態解析が急速に普及し、化石頭蓋骨の分析・比較に用いられるようになってきている。図1に示す、こうした計算機技術を援用した形態学的手法は、コンピュータ支援人類学 (Computer Assisted Anthropology) (Zollikofer *et al.*, 1995, 1998;

Kalvin *et al.*, 1995)、もしくは仮想人類学 (Virtual Anthropology) (Weber 2001) と呼ばれ、特にネアンデルタール頭蓋骨の形態変異や成長変化の分析に応用され、その有効性が示されている (Ponce de Leon *et al.*, 1999, 2001; Zollikofer *et al.*, 2002)。

我々はこういった新しい手法を用いて、中新世アフリカ類人猿の頭蓋骨形態の比較・分析を行うことを目指している。その第一段階として本研究では、コンピュータ支援の3次元形状処理システムを構築し、最も代表的な中新世化石類人猿であるプロコンスルの頭蓋骨化石の形態モデリングを行った。

2. 標本と方法

Proconsul heseloni (Walker *et al.*, 1993) の頭蓋骨化石 (KNM-RU-7290 A) の積層断層画像を、ナイロビ Diagnostic Centre 所有のX線ヘリカルCTスキャナー Siemens Somatron AR SPを用いて取得した (図2A)。撮像条件は、管電圧 130 Kv, 露出 158 mAs である。またスライス厚は、partial volume averaging の影響を最小にするために、この機械の最小値である 1 mm とした。1 スキャンあたりのテーブル移動量は 20 mm であり、標本全体を計測するのに 8 スキャンを要し

図1 コンピュータ支援人類学の概要。CTより得られる化石や骨（ここでは肩甲骨）の積層断面像を計算機内に取り込んで、その3次元形状を再構築し、仮想空間内でその形状の観察・操作・計測を行う。数理形態学的手法を用いた形態の3次元比較が可能となるばかりでなく、化石断片の組立や塑性変形の修正といった形状処理、材料力学的構造解析、関節の運動学的・生体力学的解析など、様々な分析や処理が可能となる。また3次元形状造形機を用いれば、仮想空間内の形状の実体モデルを作成し、見て触ってその構造を理解することもできる。

た。

この生データから、シーメンス旭メディテック株式会社の協力を得て、国内で断面画像の再構成を行った（図2B）。画像構成関数（カーネル）には空間分解能が高いSP90（Shepp-Roganカーネル）を用いた。また、画像の再構成にはextended CT scaleを用いた（Spoor *et al.*, 2000a, 2000b）。このようにしてピクセルサイズ0.195 mm、画像間隔0.5 mmの断面画像計293枚を取得し、DICOMフォーマットで保存した。なお、本スキャナーの断面方向の空間解像度は約0.3 mmであり、ピクセルサイズが必ずしも計測精度を表しているわけではない。

3次元形態の再構築には、医用画像処理ソフトウェアAnalyze 4.0（米国・Mayo Clinic）を用いた。DICOMフォーマットの積層スキャン画像を本ソフトウェアに読み込み、ボリュームレンダリングにより標本の表面形状を可視化した。領域の抽出は、二値化処理により行った。抽出した化石標本の表面形状は、adapt-deform アルゴリズムを用いて微小三角平面（ポリゴン）のパッチに

変換し、これを形状のサーフェスデータとしてstl形式で保存した。

形状抽出する対象が複雑な生体構造の場合、Analyzeは、必ずしもその表面を幾何学的に正しいサーフェスデータとして出力できるわけではない。例えば、3枚以上のポリゴン面が一边を共有したり、一つの頂点に接続する面の数と辺の数と同数にならないといった、幾何学的に不正なポリゴンが存在することがある。このような状態を有するサーフェスは、各ポリゴンが微小であるため、見た目には全く問題がないが、後述する3次元形状造形機に入力するとエラーになってしまう。そのためAnalyzeで抽出したサーフェスデータを、3次元形状処理ソフトウェアRapidForm 2002（韓国・INUS Technology）に読み込み、それら不正ポリゴンの修正を行った。

3次元形状をコンピュータ内で可視化しても、その表示は本質的に2次元であり、構造の特徴を完全に理解することは困難である。しかし、3次元形状造形装置を用いれば、仮想空間内に構築した化石の形態データから、その実体モデルを作成

図2 プロコンスルの頭蓋骨化石 (KNM-RU-7290A) の形状計測。A: CT 撮像風景, B: 得られた断層画像の一例。

することができ、実際に見て触ってその構造を理解することができる。そのため本システムの一部として、光造形装置 SJ200 P (デンケン) を導入した。光造形装置とは、光硬化性樹脂に集光した紫外線ランプ光をあて、一層ずつ硬化させ積層し、3次元形状の実体モデルを作成する装置である。従来の光造形装置は、非硬化状態では液体の樹脂を用いるため、造形するモデルに浮遊や変形を防ぐサポート支柱を付加する必要があった。それに対して本装置は、常温では固体(ゲル)、高温では液体(ゾル)と可逆的に変化するゾルーゲル変換型の光硬化性樹脂を用いるため、サポート支柱が不要であり、頭蓋骨のような生体複雑構造の実体モデルの作成に適している(日浦ら, 2001; 神村ら, 2000)。本研究では、本装置を用いて、積層ピッチ(樹脂の層の厚さ) 0.2 mm, 硬化幅(光ビームの幅) 0.8 mm の条件で、仮想空間内に構築した3次元形態の造形を行った。

3. 変形化石の形態復元

化石頭蓋骨の多くは、化石生成過程において破片に分断され、また土圧などの影響により変形を受ける(Shipman 1981; Lyman 1994)。本研究でモデリングの対象としている RU-7290A も例外ではなく、大きく歪んでいることが知られているが、通常変形した形態をそのまま分析することは不可能であり、何らかの方法で変形前の形態を復元する必要がある。過去に、化石前面と側面の写真を撮影し、それを切り刻み並べ替える方法(Davis & Napier 1963) や、キャストを化石上のクラックにそって小片化し、現生霊長類や変形を受けていない化石の形態を参考に3次的に組み上げる方法(Walker *et al.*, 1983) などにより、本化石標本についても形態の復元が試みられてきた。

本研究では、上述した一連のコンピュータ支援の形状処理システムを用いて、この頭蓋骨の形態復元を行った。復元アルゴリズムには、我々が現在開発している客観的かつ定量的な形態復元手法を用いた。これは、生前の頭蓋骨は左右対称であるという幾何学的な拘束条件を利用して、受けた塑性変形を取り除く試みである。化石化の過程で受けた変形が一樣であると仮定できる化石頭蓋骨については、すでに計算機による変形の除去が行われている(Ponce de Leon *et al.*, 1999)。しかし、一樣でない歪みを元に戻す本研究のような試みは、著者らの知る限り行われていない。

本手法の詳細は他著(Ogihara *et al.*, 投稿準備中)に譲り、ここではその概要を説明する。頭蓋骨は、変形を受けていなければ図3Aに示すように、正中矢状面にある形態の特徴点(例えば、前鼻棘、切歯孔、鼻骨間縫合など)が、同一の平面上に存在する。さらに、頭蓋骨は正中矢状面に対して対称な骨であるため、左右の同じ特徴点はすべて面対称の関係にあり、その2点を結ぶ線分は中点で正中矢状面と垂直に交わる。一方、変形を受けた頭蓋骨は、図3Bに示すように、こういった幾何学的拘束条件を満たしていない。そのため本研究では、変形を受けた頭蓋骨の特徴点の位置

図3 変形による頭蓋骨特徴点の幾何学的関係の変化。変形していない頭蓋骨(A)では、正中矢状面の特徴点は同一平面上に位置し、左右対称な特徴点の2点結ぶ線分が中点で正中矢状面と垂直に交わる。しかし変形を受けると、そのような幾何学的関係が失われる(B)。

を、これらの条件を満たすように修正することを考えた。

ところが、そのような方策は無限に存在し、上述の条件からは一意に特徴点の移動ベクトルを算出することはできない。例えば正中矢状面上に存在しない点を、その面上に移動させることを考えると(図4 A)、同一平面上という条件だけではその移動が一意に定まらないことがわかる(図4 B)。このため本研究では、図4 Cに示すように、正中矢状面上の近接する特徴点との距離を修正前後で保存し、かつ移動距離が最小となるようにその移動ベクトルを一意に定めた。これは、変形によりシェープのみが変化しサイズの変化はないことと、変形は著しく大きくないという仮定に基づいている。

同様に、互いに左右対称な2つの特徴点についても(図4 D)、2点を結ぶ線分が中点で正中矢状面と垂直に交わるという条件のみでは一意に移動

ベクトルを定めることができない(図4 E)。それに対して、ここではこの幾何学的条件を満たしつつ、かつ2点の移動距離の和が最小になる移動ベクトルを一意に求めた(図4 F)。このようにして、特徴点をすべて移動させた。

形態の復元のためには、特徴点だけでなく、化石上のすべての点の移動ベクトルを求める必要がある。本研究では、元座標から移動後の座標への非線形写像を、薄板スプライン関数(Bookstein, 1989; 三中, 1999)によって記述し、形態表面すべての点について移動ベクトルを計算した。そして、修正後の化石形態を可視化し、これを復元結果とした。形態学分野では、薄板スプライン関数が、形態間の差を記述するのに通常用いられているが、ここでは純粋に特徴点の移動を補間するためにそれを用いている。

図4 特徴点移動アルゴリズムの概要。面は正中矢状面を表す。本来正中矢状面上に存在すべき特徴点(A)は、その面上に移動させるが、その移動量は一意に定まらない(B)。ここでは最も近傍にある特徴点との間の距離を保存し、かつ移動距離が最小となる移動ベクトルを最適化計算により算出している(C)。一方、左右対称な特徴点(D)は、左右の2点を結ぶ線分が中点で正中矢状面と垂直に交わるように移動させるが、同様に一意にその移動ベクトルは定まらない(E)。ここでは先の幾何学的条件を満たし、かつ2点の移動量の和が最小となる移動ベクトルを求めている(F)。

4. 結果

(1) 原型化石の3次元モデリング

図5に仮想空間内に構築されたプロコンスル化石を示す。比較のため、そのキャストの写真も示した。本形状モデルの節点数は1,532,094、ポリゴン数は510,698である。図5Aより、仮想空間内に構築されたモデルは、キャストで表現されている細部構造を表現できていないことがわかる。例えば、鋭利な歯の形状が、モデルでは鈍っている。一方、切歯上の点と頭骨後部の点の距離をキャストとモデルで比較すると、比率にして1.4%の差が見られた(モデル上の距離のほうが短い)。キャストの寸法は、実標本と必ずしも一致しないため、正確な評価は現在のところ不可能であるが、本モデルは化石の細部の表現に限界があるものの、ほぼ完全に実際の化石(キャスト)の形状を再現

できており、頭蓋骨全体の形態の分析のためには十分な精度を有していると言える。

光造形装置により作成した化石の実体モデルを図5Cに示す。造形した実体モデルも、鋭利な形状は表現できず、全体的に形態が鈍っている。しかし、同じ2点間距離を比較すると、仮想モデルと実体モデルで計測値の差は約0.2%となった。これは仮想空間内のモデルの形態が、造形機によって正確に複製されていることを示している。

(2) 復元化石の3次元モデリング

プロコンスル頭蓋骨の、修正前後の形態の比較を図6に示した。図中の球は変形除去のために取得した特徴点を表している。修正頭蓋骨では、正中矢状面の形態特徴点は同一平面上に、左右対称である特徴点はその面に対して対称な位置に移動されていることがわかる。そして、それら特徴点

図5 プロコンスル頭蓋骨の3次元形態モデル。A: キャスト B: 構築モデル(仮想空間内) C: 光造形による実体モデル。モデルは共に化石の原型のものである。

の移動に追従して、化石原型の表面全体が変換されている。

格子は原型から修正形状への3次元変換による空間の歪みを図示している。上述の幾何学的拘束を満たすために、化石の上前部が向かって左方、後部が向かって右方、右側が前方、左側が後方に、せん断変形され、その形状が修正されていることがわかる。すなわち、化石化の過程で頭骨が受けた変形は、この逆であったと推定できよう。また、ここで起きている変換は直方体が平行六面体になるような一様な変換ではなく、本化石が受けた変形が、非常に複雑であることを示している。

仮想空間内で新たに構築された頭蓋形態は、ディスプレイを介して観察可能であるが、ここではさらにその実体モデルを作成した。その比較を図7に示す。このように、仮想空間内で変換処理を施した形状も、実体モデルとして実空間に取り出し、観察することが可能となっている。

5. 考 察

本研究で構築したシステムによって、仮想空間内で3次元モデルの構築が可能となった。ただし、構築された仮想空間モデルの形状は全体として鈍っており、また、そのデータを元にして造形された実体モデルも同様であった。これはCTスキャナーの計測器としての空間分解能や、造形機の分解能の限界による。本研究で用いたCTスキャナーの空間分解能は、断面方向で約0.3 mm、断面の積層方向で1 mmであった。つまりそれより小さい形状の変化を捉えることはできず、その結果、例えば歯の鋭利な凹凸など化石細部がモデル上では表現されなかった。造形機にも同様に積層ピッチや硬化幅の制約が存在し、それより小さな形状変化をモデル上で表現することが原理的に不可能である。このため、実体モデルは仮想モデルよりもさらに形状が鈍る結果となった。したがって、光

図6 プロコンスル頭蓋骨の変形復元。左が復元前（原型）、右が復元後の形態を示している。図中の点は修正に利用した特徴点の位置を表す。

図7 プロコンスル頭蓋骨実体モデルの比較。A: 復元前, B: 復元後。

造形モデルは、化石を型どりしたモールドから作るキャストに取って代わるものには成り得ない。しかし、先に述べたように頭蓋骨全体の寸法と比較するとその誤差は小さく、仮想・実体モデル共に、頭骨形態の比較研究には十分な精度を有していると考えることができる。

このように構築された仮想空間内の化石モデルの利点は、実際の化石では行えない観察や分析を可能とすることにある。本モデルを用いれば、例えば、形状を任意の位置で切り取り、隠れた頭蓋骨の内部構造を非破壊的に観察することが可能である。また、図8に示すように化石表面の曲率を計算して形状の起伏を可視化し、それを抽出することも可能となっている。この結果を援用すれば、形態学的特徴点の座標を正確に取得することができる（本研究で試みた復元では、実際にこのようにして特徴点の座標を取得している）。さらに図8Bのように脳溝も抽出でき、従来行われている定性的な分析（Falk, 1983; Radinsky, 1974）に対して、脳溝の相対的な位置を定量的に記述することも可能となっている。仮想化石モデルを研究に用いれば、実標本へのアクセス数を減らし、観

察・計測により化石を傷つける危険性を減少させることにもつながるはずである。

一方、実体モデルの作成は、仮想空間内の形状に実際に触ることを可能とし、形状の理解や認識を促進した。特に、今回行ったような形態復元は、化石の原型を複雑に変換している。そのため、ディスプレイによる擬似3次元表示では、変換結果を完全に理解することは難しかった。しかし、実体モデルを用いれば、非線形変換による形状の変化を実際に見て触って確かめることができる。3次元造形装置は、このように形状表示装置として、他にはない優れた特徴を有しており、その有効性が確認された。

本研究ではこうしたシステムを用いて、変形化石の形態復元を試みたが、このように化石の変形を取り除くことができれば、他の標本との定量的な比較が可能になる。また、本研究で対象としたプロコンスルの頭蓋標本は、図5に示すように左眼窩上部に欠損部分があるが、右側の対応部位の情報から鏡像モデルを作成し欠損を補完するといった復元処理も可能となる。従来不可能であった分析や補完が、構築した本システムにより可能とな

図8 曲率計算による特徴点・稜線の可視化。A: 頭蓋骨外面, B: 頭蓋骨内面。Bの矢印がついた稜線が脳溝を表している。

りつつあることを本研究では示した。

以上のようなシステムを利用して、今後中新世アフリカ類人猿の頭蓋骨形態の分析を行う予定であるが、そのためには今後、まず形態復元手法を、より詳細な復元ができるように発展させる必要がある。そもそも化石の生前形態を復元する問題は、解を一意に定める情報が十分与えられていない不良設定問題である。当然、上述のような幾何学的拘束条件のみでは復元のための情報が不足しており、現段階では完全な復元には至っていない。例えば、本標本は前頭鼻骨部に塑性変形があり窪んでいるが、そこはほぼ正中矢状面上であるため、対称性の条件からだけでは変形を修正できない。

今後、こういった部分を、変形を受けていない他のプロコンスル化石の形態情報を利用するなどして補完し、より完全な復元を行うシステムに発展させる必要がある。

こうして様々な化石について、変形を復元することができれば、薄板スプライン法や有限要素スケーリング法 (Cheverud *et al.*, 1983) といった数理形態学的手法を擧用して形態分析を行うことも可能となる。そのような形態解析モジュールも今後整備していく予定である。

謝 辞

標本のCT撮影には、Dr. Emma Mbuaをはじめとするケニア国立博物館のスタッフの皆様と、Diagnostic CentreのDr. Bablu Sokhi、画像の再構成には、シーメンス旭メディテック株式会社メディカルソリューションマーケティングCTグループの村田勝俊氏、光造形器の導入には、株式会社デンケンの日浦昭二氏と山村良二氏、のご協力を賜りました。京都大学霊長類研究所の濱田穰先生には、適切なコメントを賜りました。皆様に謝意を表します。

本研究は科学研究費補助金（基盤研究（A）（2）14204082, 21世紀COE研究A2, 若手研究（B）15770158）により行われました。

引用文献

- Bookstein FL 1989: Principal warps - thin-plate splines and the decomposition of deformations. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell 11: 567-585.
- Cheverud J, Lewis JL, Bachrach W, Lew WD 1983: The measurement of form and variation in form - an application of 3-dimensional quantitative morphology by finite-element methods. Am J Phys Anthropol 62: 151-165.
- Davis PR, Napier J 1963: A reconstruction of the skull of *Proconsul africanus* (R. S. 51). Folia Primatol (Basel) 1: 20-28.
- Falk D 1983: A reconsideration of the endocast of *Proconsul africanus*. In Ciochon RL, Corruccini RS (eds): New Interpretations of Ape and Human Ancestry, Plenum Press, New York, pp. 239-248.
- Harrison T 2002: Late Oligocene to middle Miocene catarrhines from Afro-Arabia. In Hartwig WC (ed): The Primate Fossil Record, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 311-338.
- 日浦昭二, 村上存, 神村明哉 2001: ソルーゲル変換樹脂を用いた光造形装置「SolidJet SJ-200 P」. 映像情報インダストリアル Sept: 49-51.
- Kalvin AD, Dean D, Hublin JJ 1995: Reconstruction of Human Fossils. IEEE Comput Graph Appl 15: 12-15.
- 神村明哉, 村上存, 中島尚正 2000: 冷却固化式光造形法に関する研究（ソルーゲル変換樹脂と紫外線遮断層を用いた高自由度・高精度造形）. 日本機械学会論文集（C編）66: 3201-3206.
- Lyman RL 1994: Vertebrate Taphonomy, Cambridge University Press, Cambridge.
- 三中信宏 1999: 形態測定学. 棚部一成, 森啓編 「古生物の形態と解析」 朝倉書店, 東京, pp. 61-99.
- Pilbeam D 1996: Genetic and morphological records of the Hominoidea and hominid origins: A synthesis. Mol Phylogenet Evol 5: 155-168.
- Ponce de Leon MS, Zollikofer CPE 1999: New evidence from Le Moustier 1: Computer-assisted reconstruction and morphometry of the skull. Anat Rec 254: 474-489.
- Ponce de Leon MS, Zollikofer CPE 2001: Neanderthal cranial ontogeny and its implications for late hominid diversity. Nature 412: 534-538.
- Radinsky L 1974: The fossil evidence of anthropoid brain evolution. Am J Phys Anthropol 41: 15-28.
- Rae TC 1997: The early evolution of the hominoid face. In Begun DR, Ward CV, Rose MD (eds): Function, Phylogeny, and Fossils: Miocene Hominoid Evolution and Adaptation, Plenum Press, New York, pp. 59-77.
- Shipman P 1981: Life History of a Fossil: An Introduction to Taphonomy and Paleoecology, Harvard University Press, Cambridge.
- Spoor F, Jeffery N, Zonneveld F 2000a: Imaging skeletal growth and evolution. In O'Higgins P, Cohn M (eds): Development, Growth and Evolution: Implications for the Study of the Hominid Skeleton, Academic Press, London, pp. 123-161.
- Spoor F, Jeffery N, Zonneveld F 2000b: Using diagnostic radiology in human evolutionary studies. J Anat 197: 61-76.
- Walker A, Falk D, Smith R, Pickford M 1983: The skull of *Proconsul africanus* - reconstruction and cranial capacity. Nature 305: 525-527.
- Walker A, Teaford MF, Martin L, Andrews P 1993: A new species of *Proconsul* from the early Miocene of Rusinga Mfangano islands, Kenya. J Hum Evol 25: 43-56.
- Weber GW 2001: Virtual anthropology (VA): A call for glasnost in paleoanthropology. Anat Rec 265: 193-201.
- Zollikofer CPE, Ponce de Leon MS 1995: Tools for rapid prototyping in the biosciences. IEEE Comput Graph Appl 15: 48-55.
- Zollikofer CPE, Ponce de Leon MS 2002: Visualizing patterns of craniofacial shape variation in *Homo sapiens*. Proc R Soc Lond B Biol Sci 269: 801-807.
- Zollikofer CPE, Ponce de Leon MS, Martin RD 1998: Computer-assisted paleoanthropology. Evol Anthropol 6: 41-54.

(Summary)

Three-dimensional Computerized Modeling of the Skull of *Proconsul heseloni*

Naomichi OGIHARA¹⁾, Masato NAKATSUKASA¹⁾, Yoshihiko NAKANO²⁾
Hidemi ISHIDA³⁾

- 1) *Laboratory of Physical Anthropology, Department of Zoology,
Graduate School of Science, Kyoto University*
- 2) *Graduate School of Human Sciences, Osaka University*
- 3) *School of Human Nursing, University of Shiga Prefecture*

The skull of *Proconsul heseloni* (KNM-RU-7290A) is three-dimensionally reconstructed in a virtual environment for morphological analyses of the evolution of Miocene hominoid skulls by the means of Computer Assisted Anthropology. The volume of the fossil is extracted from the CT-scan images and the surface is approximated by very tiny triangles. Such a computerized technique enables visualization, manipulation and measurements of its 3 D shape in a computer. Moreover, a replica of the virtually constructed model can be created by stereolithography.

Taking advantage of the computerized system, non-homogeneous taphonomic deformation of the

fossil is corrected based on skull's basic geometry, that is, bilateral symmetry with respect to its mid-sagittal plane. Morphological landmarks of the skull are transferred so as to fulfill the geometrical conditions, and the entire shape of the skull is transformed according to the movements of the landmarks using a thin-plate spline function. Although the reconstruction is still incomplete due to inherent lack of information that can be extracted from the fossil for reversal of deformation, tentative results indicate efficacy of the proposed computerized system for advanced morphometrical and biomechanical studies of fossil skulls.

荻原直道 京都大学大学院理学研究科動物学教室自然人類学研究室
〒606-8502 京都市左京区北白川追分町

Naomichi OGIHARA Laboratory of Physical Anthropology, Graduate School of Science, Kyoto University
Kitashirakawa-oiwakecho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan
e-mail: ogihara@anthro.zool.kyoto-u.ac.jp