

2. RTK-GPS を用いた段丘面高度の精密測定に基づく ナウマンゾウ産出層準の検討

Geomorphological examination of the stratigraphic horizon bearing
the *Palaeoloxodon naumanni* at Churui-Bansei by RTK-GPS survey

奥村晃史*・出穂雅実**

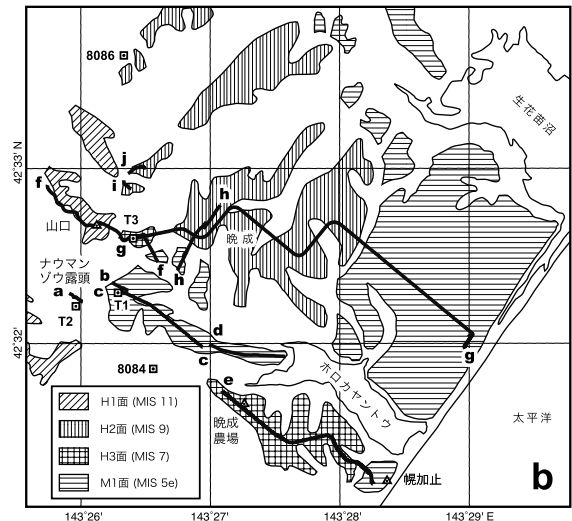
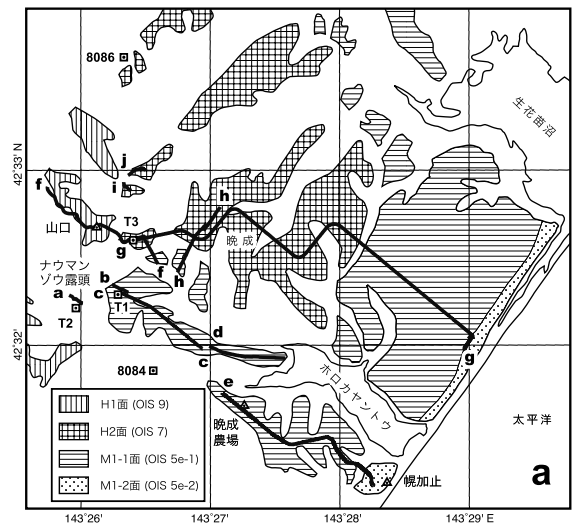
Koji Okumura and Masami Izuho

1. はじめに

ナウマンゾウ化石産出地点周辺に分布する海成段丘は概ね標高 100 m 以下で 3~4 面に大別できる。段丘堆積物は未固結の砂礫であり、段丘基盤は浸食抵抗性の低い中新統~鮮新統の堆積岩である。このため、最低位段丘以外の段丘面は開析が進み、平坦面の保存が悪い。また氷期には周氷河環境にあってソリフラクションが進行し、段丘崖の上では面的な浸食が、下では麓層面の形成が進んだ。その結果、段丘面と旧汀線、段丘崖の地形は概ね丸みをおびて不鮮明となり、段丘面の区分と対比は困難となっている。

小池・町田編 (2001)・中村・平川 (2001) は、5 万分の 1 地形図『忠類』図幅地域に、16 m, 25 m, 55 m, 90 m 前後に旧汀線をもつ四面の海成段丘を記載し、低位の二面を MIS 5e に、55 m 前後の面を MIS 7, 90 m 前後の面を MIS 9 に対比した (第 2-1 図 a)。しかし、ナウマンゾウ化石産出地点に海成段丘面・海成層は分布せず、周辺の海成段丘の地形も不鮮明であり、また、小池・町田編 (2001) の海成段丘区分には地形面の認定や高度分布からみて矛盾する点もみられる。従来の海成段丘区分は主に空中写真判読だけで行われているが、産出地点周辺の段丘地形を合理的に区分して、産出層準推定のための情報を得るには、段丘面の高度を面的に正確に測定して区分と対比の再検討を行う必要がある。

地表の標高分布を面的に計測する方法としては航空機搭載 LiDAR (Laser Scanner) 計測が最も効率がよく、誤差 15 cm 以下で 1 m² あたり数点の高密度計測を高速に行うことができる。しかし、産出地点周辺の山林のように笹が密生している場合、地面からの信号を得られる可能性は低い。また測定経費も多大なため、本研究では実施できなかった。地盤高を求めるための最も正確な方法は水準測量であるが、実施には多大な労力と時間を必要とする。一方、二周波型 GPS 受信機二台を基準局と移動局に用いて RTK (Real Time Kinematic) 測量を行うことによって、最大 1 秒あたり 10 点の座標を位置・高さともに 2 cm 以下の精度で取得することができる。本稿では、RTK-GPS を用いて産出地点周辺



第 2-1 図 忠類ナウマンゾウ化石産出露頭周辺の海成段丘と RTK-GPS 測線および基準点。
a には小池・町田編 (2001) による区分と時代対比を、b には本研究の成果に基づく区分と時代対比の試案を示す。

*広島大学大学院文学研究科

Graduate School of Letters, Hiroshima University

**首都大学東京大学院人文科学研究科

Graduate School of Humanities, Tokyo Metropolitan University

の海成段丘とそれに由来する地形の高度分布を正確に測定した結果をもとにナウマンゾウ産出露頭の時代対比を考察する。

2. 測定方法

二周波型 GPS 受信機 2 台を用い、不動の基準局と移動局の測定結果を併せて解析することにより、位置・高さともに 2 cm 以下の誤差で高速に測定することができる。RTK 計測は、移動局で基準局情報を受信しながら測定を行って即座に高精度で位置決定を行うものであるが、別々に記録した情報を測定終了後に処理 (post-processing) を行うこともできる。また、測定は測点を特定し、静止して計測する方法 (static) と移動しながら毎秒 10 回以下の測定を自動的に行う方法 (moving) がある。衛星配置が良好であれば、いずれの方法でも誤差は mm オーダーとなる。

今回の計測には Leica GX 1230 レシーバー・AX 1202 アンテナセット 2 組を用いた。2009 年 11 月に実施した測定では、晩成西方の山口三角点 (第 2-1 図) 横に基準局を設置して、山林・牧草地は歩行による static 計測を、車道が段丘面上を連続して通過している場合は車上での moving 計測 (1 秒 2 回) を行った。解析は Leica Geo Office を用い後処理によって行った。基準局・移動局の座標の設定は行わず、標高は 1 等水準点 2 点と、それらを基準に設定した仮ベンチマーク 3 点によって補正するとともに、相対高度に 10 cm 以上の変化がないことを確認した。

3. 測定結果

a~h 測線および参照基準点の平面図を第 2-1 図に、投影縦断面図を第 2-2 図に示した。総延長 12,382 m の測線をのべ約 10 時間で測定した。Static 241 点、moving 2486 点を分析に用いたが、約半数が誤差 10 mm 未満、96.6% が誤差 20 mm 未満であった。a 測線 (ナウマンゾウ産出地点) の 26 測点は樹木による受信障害によりコード解析を行ったため誤差が 72~226 mm、d 測線の東半分 26 点は単独測位データしか得られなかったため誤差が約 5 m であった。

各測点の緯度経度をもとに、国土地理院の測地成果 2000 によるジオイドモデルデータセット (gsigeome.ver 4) とジオイド高計算プログラム (gsigeome2.exe) を用いて各測点のジオイド高を求め、楕円体高の測定値から差し引いて仮の標高とした。二つの一等水準点における国土地理院が公示する標高と仮の標高との差は、測定一日目には 3.635~3.690 m、二日目には 5.438~5.528 m であり、それぞれの日の測定中の変化の範囲は 10 cm 未満である。それぞれの日の測定結果からこの差の平均値を差し引いて標高とした。

同一点を繰り返し測定した結果には 10 cm 未満の不確かさがあるが、その不確かさの大部分は一等水準点の高度変化に起因する可能性がある。国土地理院の測定による水準点 8086 (53.7690 m) と水準点 8084 (14.8461 m) の比高は 41.9229 m であるが、今回の測定による標高差は 41.997 ± 0.014 m であり、約 74 mm の差がある。二つの水準点は

2003 年十勝沖地震の直後に設置され、十勝沖地震の余効変動継続中に測定が行われている。余効変動により局地的に地盤の差動的な昇降が生じるとは考えにくい。この差は水準点のドリフトによる可能性がある。標高測定の精度を確認するため、3 点の仮水準点 T1, T2, T3 を設定し、一連の測線計測の前後、途中にこれらの仮水準点の測定を行った。23 回行った水準点と仮水準点の測定値の差は平均して 0.013 m であった。一等水準点の標高の不確かさによる誤差を含め、位相解析を行った 99.6% の測点における標高測定値の誤差は 10 cm 以下と推定できる。

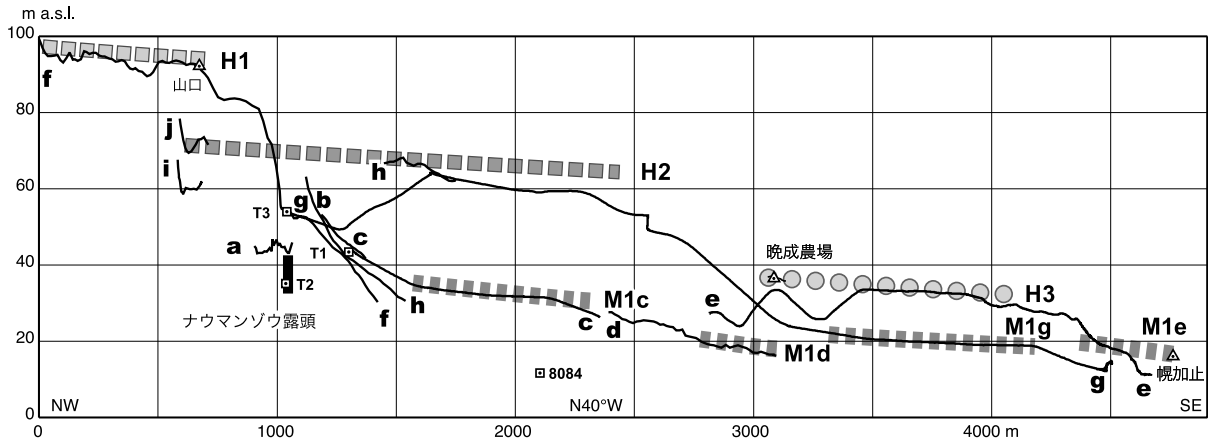
4. ナウマンゾウ産出地点周辺の海成段丘の高度分布

第 2-2 図に海岸線に直交する N 40° W の面に投影した測定結果を示した。a~e, f, g 測線の北西—南東走向の部分は投影面と平行なため、傾斜の誇張は f 測線の T3 より南東の部分を除いて僅かである。測線 h は投影面にほぼ直交するため、g 測線との交点で分割し、分割した測線の南西端を中心に反時計回りに 90° 回転して表示した。a 測線の誤差は無視できる大きさである。d 測線東半には 5 m 前後の誤差があるが、現地での地形観察をもとに断面が緩やかに東に低下するように、誤差の大きい測点全部に 2 m 加えた標高で断面を作成した。e 測線と g 測線は車上での moving 計測であるが、路面と段丘面の比高が大きい場合車外の段丘面上で計測を行い、その結果をもとに段丘面高度を推定した。

調査地域で平坦な海成段丘面が最も良好に保存されているのは、g 測線の 3500~4200 m 区間である。この区間の傾斜、3/1000 程度が太平洋に面した海成段丘の平均的な傾斜とみられる。空中写真判読とこの傾斜を基準に段丘面の認定と復元を試みた。その結果、海成段丘面は上位から H1 面、H2 面、H3 面、M1 面の 4 面に区分された (第 2-1 図 b)。

H1 面は f 測線最上部、標高 90~100 m に分布する開析の進んだ段丘面で平坦面はほとんど残されておらず、定高性をもち海側に緩やかに傾斜する尾根が海成段丘面に起源をもつ地形とみられる。H2 面は標高 65 m~75 m に分布する緩やかな起伏をもつ段丘面で、平坦な原面はほとんど残されていないが、開析の程度は H1 面に較べるとかなり低い。H1 面との間の段丘崖地形はほとんど残されていない。i, j 測線は H2 面の旧汀線状の地形を計測したものであるが、j 測線から晩成付近の H2 面の最も高度の高い点を連ねると、5/1000 程度の緩やかな傾斜で海側に傾き下がる段丘面を復元することができる。H3 面は d 測線に認められる標高 30~40 m の尾根状の台地であるが、開析が進んでおり平坦面は台地の頂部に部分的に残存するのみである。

M1 面は晩成東方と南方に分布する開析の進んでいない段丘面で、分布標高は 17~22 m 程度である。第 2-2 図と以下の記述では、M1 の後に平坦面を計測した測線の記号をつけて領域を区別する。M1e と M1g、は標高 20 m 付近に明瞭な旧汀線地形をもつ保存のよい平坦面である。M1d も標高 20 m 付近に傾斜の不連続をもち M1c には連続しないように見える。ただし、M1d の測定値には大きな不確かさが



第2-2図 忠類ナウマンゾウ化石産出露頭周辺の海成段丘面高度の投影断面図。
RTK-GPSによる測定結果をN40°Wの面に投影した。実線が標高測定値のプロット、太破線は測定結果から推定される海成段丘面である。M1面については、測線の記号をM1の後に付して領域ごとに分類した。

あるため、M1cとM1dの間の不連続については確実な判断を下すことはできない。M1cはM1e、M1gに認められる旧汀線地形より高い標高26~28mに分布する。従って、M1e、M1g、M1dが形成された時点で海水準より高い位置にあったことは確実である。その形成時期と成因は、M1面形成以前のやや海水準の高かった時期に対応する海成面か、M1面形成時期に陸上で形成された河成面のいずれかであるが、内湾の最奥部に形成されたにもかかわらず外洋に面したM1面よりも勾配が大きいため、M1c面はM1面形成期の河成面である可能性が高い。

f測線南東端、h測線南西端、b測線~c測線西端部は40/1000~50/1000の大きな勾配をもち海成段丘と同一の成因を考えるとできない。この傾斜はg測線のH2面からM1面にかけた段丘崖とほぼ同一であり、いずれもM1c面あるいはM1d面になめらかに連続することからM1面形成期の段丘崖および浸食斜面である。

5. 考察

(1) 従来の段丘面区分・編年との比較

本地域の海成段丘区分は、中村・平川(2001)に基づく小池・町田編(2001)が最も詳細なものである(第2-1図a)。本研究による標高計測の結果から以下のような問題点が明らかとなった。(a)幌加止三角点付近のM1-2面(M1e)と晩成東方のM1-1面(M1g)は同一の高度に分布する。(b)ホロカヤントウ南側のM1-1面は他のM1面(M1d、M1e、M1g)より15m以上高く対比が不可能である。(c)T3付近に記載されているMIS7面の分布高度は標高50~55mで付近のMIS7面に比べ20m以上低く急勾配のMIS5e-1面に連続する。

(a)について、第2-2図からM1eとM1gの対比は明らかである。中村・平川(2001)は幌加止三角点東側の海食崖で陸上堆積の洞爺火山灰を報告しており、M1eとM1gはMIS5eに対比できる。中村・平川(2001)と小池・町田編(2001)はMIS5eの段丘を2面に区分しているが(第2-1図)、ホロカヤントウ南側では、第2-2図のH3面をM1

面に対比したため、M1eが低位のM1面としてMIS5e-2に対比された。また、ホロカヤントウ北側でホロカヤントウと生花苗沼の間の海岸に沿って細長く伸びるM1-2面(第2-1図a)は地形的に明瞭ではない。第2-2図のg、e測線東端はいずれも海成段丘を解析する浅い谷底の測点で、そこに段丘面は存在しない。これらのことからM1面を2面に区分し、MIS5e-1、5e-2に時代対比する根拠は失われる。

(b)については、H3面を下位のM1面とは別の独立した海成段丘面と考えざるを得ない。この見解は廣瀬・大津(2010)見解と一致する。今回の測定でH3面の最高点は晩成農場三角点近くの36.84mである。この地点は開析された段丘面に由来する残丘の最高点であり、段丘面はこの標高よりも高い位置に存在した。M1g、M1eの段丘面高度にはテフラ層などの被覆層も含まれていることを考えると、H3面の標高はM1面の2倍以上といえる。H3面には一部に平坦面が残るため、すべてをH2面の残丘と考えることもできない。(c)で問題となるT3付近の標高50~55mの面を平坦な段丘面として認めると、第2-2図では、H2段丘面とM1段丘面の間の高さにあり、H3面の延長上に位置する。

以上の考察に基づいてナウマンゾウ化石産出地点周辺の海成段丘分布を第2-1図bのように改訂した。第2-1図bのMISとの対比はH面に区分した3面を順次MIS7以前の高海水準期と対応させただけで、根拠となる年代資料は得られていない。第2-2図からMIS5e、7、9、11の旧汀線高度を読み取ると、それぞれ20~25m、40~50m、70~80m、95~100mであり、等速隆起を仮定して推定される高度分布から大きく逸脱するものではない。

(2) ナウマンゾウ化石産出層準の時代対比について

ナウマンゾウ化石産出露頭の位置と高度を第2-2図に示した。露頭での化石産出層準(第三泥炭層)、その上位の砂礫層、およびToya・K-Hbを含む細粒層(第一泥炭層とその上下)の標高はそれぞれ、34.8~35.6m、35.6~39.0m、39.0~40.0m、露頭上端の標高は43.79mである(2008年掘削時の水準測量と廣瀬・大津(2010)による)。

第2-2図でみる限り、MIS 5eの河成面とみられるM1c面を西に延長して僅かに勾配を大きくすると、滑らかに露頭の上端に連続する。この勾配は現在の下当緑川本流の勾配に近い。したがって、第一泥炭層を覆う砂礫層の上面(39.0 m)はテフラ層序からみても地形からみてもM1面に相当する。

ナウマンゾウ化石産出層準の年代を考える上で重要な点は第三泥炭層を覆う砂礫層内部やその基底に数m以上の下刻を伴う不整合が存在するか否かである。まず、露頭周辺地域は第2-2図からも明らかなように、空間的に一様な速度で継続的に隆起をしている。もしも海水準変動による下刻が発生しなければ、河川の下刻は隆起量とほぼ同一となる。M1面と現海水準～現河床との比高はナウマンゾウ化石産出露頭より下流で20 m前後となるはずであるが、これは概ね成立している。もし、最終氷期の低海水準期(約2万年前)に露頭の付近でも10 mオーダーの下刻が起こったとすると、その下刻量に見合った幅の広い谷と後氷期の埋積を示す地形が存在するはずであるが、露頭周辺では下当緑川本流を含め谷幅は狭く、下刻と引き続く埋積を示す地形は存在しない。したがって、南十勝の他の河川同様、下当緑川でもMIS 2に著しい下刻は無かったものと考えられる。

露頭周辺でH2面、H1面を開析する河川は谷幅数百m以下で河床勾配も大きく、MIS 6やMIS 8に大きな下刻と引き続く埋積が起こった痕跡はない。T3から第三泥炭層までの比高は約20 mであるが、T3付近にH3面が分布しMIS 7に形成されたと仮定した場合、MIS 7からMIS 6までの隆起量に相当する浸食量として20~25 mは妥当な値である。露頭におけるMIS 5からMIS 2までの浸食量も氷期の下刻が無かったとすると20 m前後である。H2面形成

期、あるいはそれ以前の河川がナウマンゾウ化石産出層準まで下刻した場合、周辺の地形・地形発達は全く異なったものとなるであろう。従って、本報告書で廣瀬・大津(2010)が述べている、MIS 7からMIS 6までに浸食によって形成された下当緑川の河谷がMIS 5にかけて埋積される過程でナウマンゾウ化石を包含する地層が堆積したものとする見解は、精密な地形面高度の測定結果からも支持される。

本報告で推定されたH3面の存在やその構成層、それぞれの面の時代対比は、より広域の詳細な地形地質調査によって確認することが必要である。また、従来の海成段丘区分と対比では、精密な高度測定が十分には行われていなかった。航空機搭載LiDar計測やRTK-GPSを用いた高精度で能率のよい面的な高度測定によって、海成段丘の対比と編年、旧汀線高度の変化に基づく地殻変動の研究は大きく進展するにちがいない。

引用文献

- 廣瀬 亘・大津 直, 2010, 周辺の地形・地質からみた産出地点の位置づけ, 化石研究会誌, 特別号, no.4, 11-12.
- 小池一之・町田 洋編, 2001, 日本の海成段丘アトラス, 東京大学出版会, 105p., 2sheets, 3CD-ROM.
- 町田 洋・新井房夫・宮内崇裕・奥村晃史, 1987, 北日本を広く覆う洞爺火山灰, 第四紀研究, 26, 129-145.
- 中村有吾・平川一臣, 2001, 十勝平野南部における酸素同位体比ステージ5, 7, 9のテフラ, 第四紀研究, 40, 373-384.