

ナスカ台地におけるラインセンター間の移動距離と負担との関係 —歩行時の心拍数を指標として—

本 多 薫

(文化システム専攻 心理・情報領域担当)

門 間 政 亮

(宇部フロンティア大学短期大学部)

1. はじめに

南アメリカ大陸の西部に位置するペルー共和国のナスカ台地には、猿やハチドリなどの動物の絵で有名なナスカの地上絵がある。ナスカの地上絵は、動物の絵以外にも、植物や幾何学図形、直線などの絵が複数、台地上に描かれている。その中でも最も多く描かれているものは直線の地上絵である。また、地上絵には複数の直線が集まる（又は直線が放射される）“ラインセンター”と呼ばれているものが複数あり（図1）、山形大学人文

学部が中心となる共同研究による調査が行われている¹⁾。これまでの調査の結果、163点のラインセンターがあることが分かっている^{注1)}。

筆者らの人工衛星画像の分析などから、複数のラインセンターを経由して台地の南北がつながれていることが明らかになっている²⁾。そして、ナスカ台地に南北をつなぐ道（情報科学では“情報を伝達するネットワーク（通信網）”と呼ぶ）があったのではないかと仮説を立て、検討してきた³⁾。その結果、(1)複数のラインセンターとそれをつなぐ直線の地上絵を利用することで、迷うことなく



(ラインセンター C44から伸びる直線の地上絵)

図1 ラインセンターと直線の地上絵の例

南北を移動できること、(2)洪水等の影響を受ける場所においても、歩行路として構築が可能であること、などが明らかとなった。ラインセンター間をつなぐ直線の地上絵の長さ（距離）は一定ではなく、長短様々な長さのものがある。筆者らが示したナスカ台地のネットワーク図では、C61とC37と記述されている箇所をつなぐ直線（ライン）が最も長距離である（図2）。道路網などのネットワークを構築する場合には、効率性の観点から複数の中継地点を経由せずに、始点と終点をダイレクトに直線でつなぐことで最短路（最短距離）を確保することが検討される⁴⁾。しかし、始点と終点の距離が長くなると生体への負担の増加、疲労や歩行路の寸断などリスクが高まることが予想される。ナスカ台地のラインセンターとそれをつなぐ直線の地上絵の制作目的の一つとして、“歩行路”と仮説を立てた場合に、単に“直線の地上絵に沿って歩行できた”との確認だけでは不十分であり、生体への負担を考慮して無理なく歩行できるのかを検証する必要がある。

運動や作業などの生体負担の評価には、心拍数、呼吸数、筋電図、脳波、エネルギー代謝などが指標として用いられる^{5), 6)}。長町⁷⁾は心拍に関して、「体内エネルギーの消費量の指標として用いることができる。つまり軽作業に比較して重作業では、体内エネルギーの消費が大になるので、血液拍動も激しくなり、労働負担の程度を心拍数で推しはかることができる。」と述べている。

よって本研究では、移動距離が異なる4か所のラインセンターをつなぐ直線の地上絵を取り上げ、この直線の地上絵に沿って歩行^{注2)}による移動を行った際の心拍数を計測して、心拍数を指標としてラインセンター間の移動距離と生体への負担との関係について検討した。

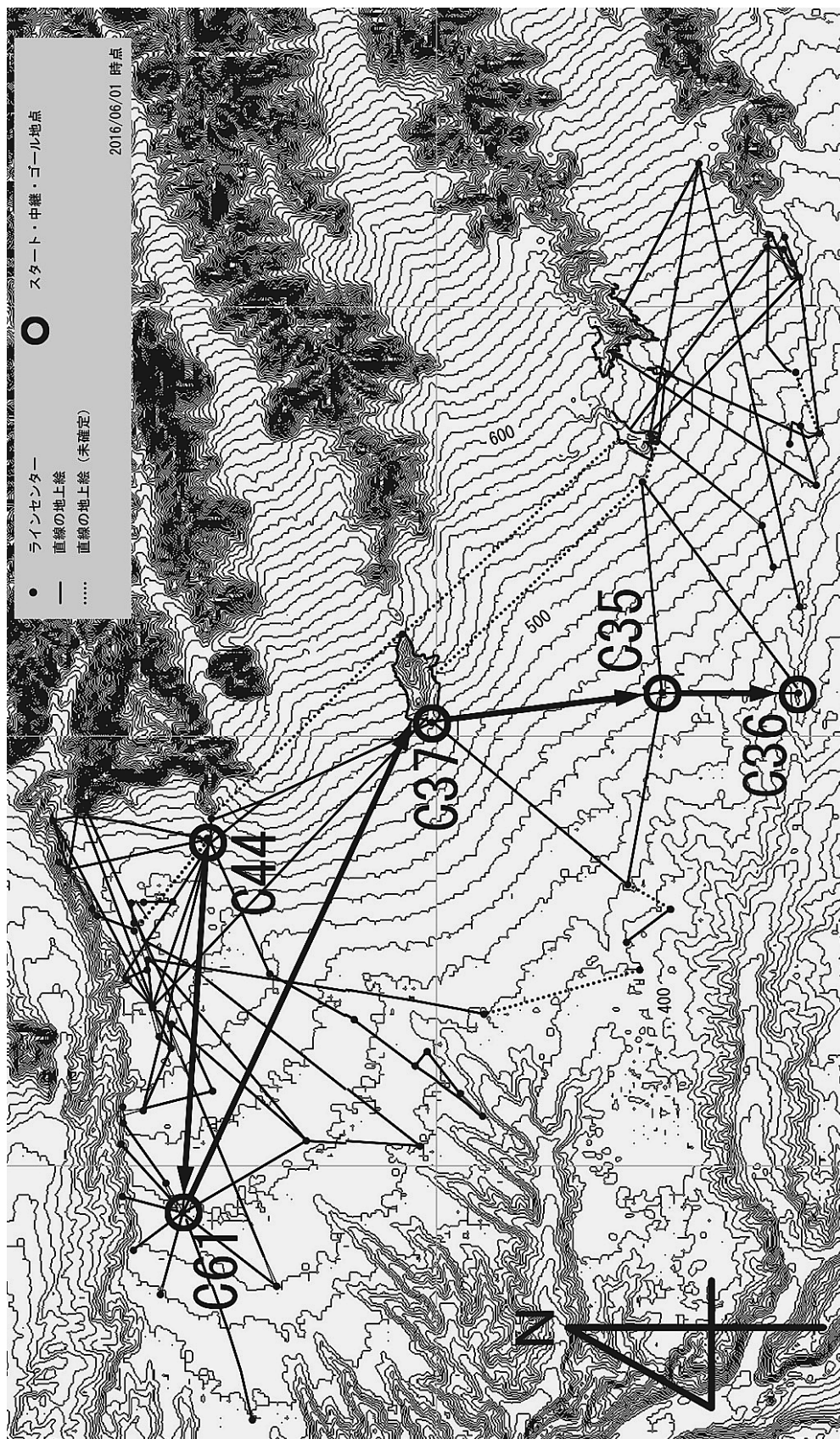
2. 心 拍 数

心臓の活動水準の測定に用いられるのが、心臓を挟んだ体表面に電極を貼り、心臓の活動を電氣的に記録する心電図（electrocardiogram: ECG）

である。心電図には心筋が収縮するときの一連の電気活動が現れるが、血液を左心室から大動脈に送り出すときに発生する大きな電気信号をR波と呼ぶ。1分間のR波の回数を数えることにより、心拍数（拍／分）を算出することができる。心拍数は物理学的作業強度や酸素摂取量と高い相関関係を示すことが分かっており、心拍数の増減から物理学的作業強度（運動強度）を評価することができる⁸⁾。また、心拍数は、身体的ワークロードが大きくなると増加し、精神的緊張、不安感、その他の情動によっても増える⁹⁾。本実験の歩行では、心拍数（1分間のR波の回数）を測定した。心拍数の測定は、心拍測定装置（T.K.K.1876a, 64K バイトインターフェースⅡ型、竹井機器工業）を使用した（図3）。2個の正電極を被験者の胸部に装着し、もう一方の負電極を下肋骨に装着する3電極のCM₅誘導法を用いた。

3. 実験方法

本研究では、ラインセンター間の直線の地上絵に沿って歩行した場合の移動距離と生体に与える負担を検討するために、ラインセンター間の距離の異なる4つのルートを選定した。ルート1として、ラインセンター No.61（以下 C61と略記）から No.37（以下 C37と略記）までの経路、ルート2としてラインセンター No.44（以下 C44と略記）から C61までの経路、ルート3として C37からラインセンター No.35（以下 C35と略記）までの経路、ルート4として C35からラインセンター No.36（以下 C36と略記）までの経路を選定した（図2）。C35、C36、C37、C44、C61の番号は、Aveni¹⁰⁾ が付けたラインセンターの整理番号である。表1に各ラインセンター間の距離を示す。C61から C37が約11,240m、C44から C61が約7,600m、C37から C35が約4,730m、C35から C36が約2,890mである^{注3)}。ラインセンターには、自然の山や丘を利用したものがあるが、人工的に制作されたと思われるマウンドや石積みもある。今回の実験で取り上げたラインセンターのスタート地点の風景を



（ナスカ台地の地形図（等高線間隔10m））

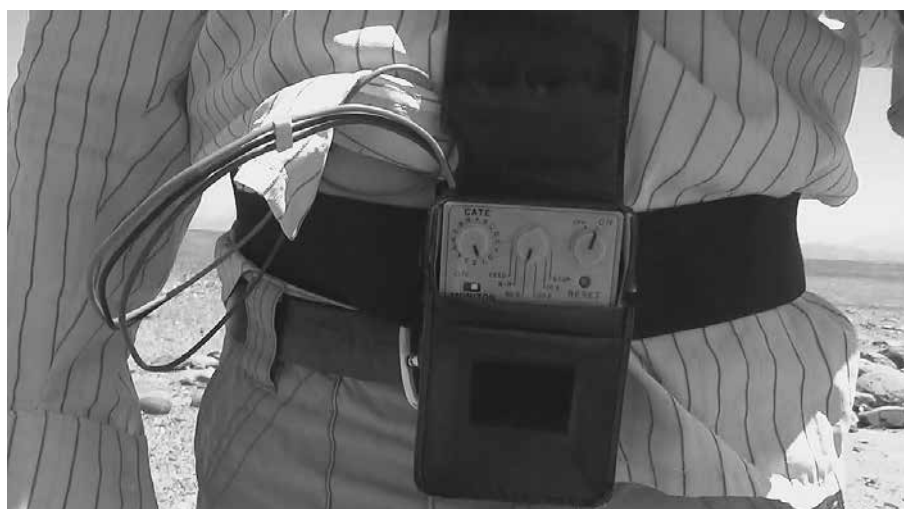
ルート1：C61→C37, ルート2：C44→C61, ルート3：C37→C35, ルート4：C35→C36

図2 ナスカ台地の歩行したルート（ネットワーク図とラインセンターの位置）

表1 ラインセンター間の距離

ルート	ラインセンター間	距離 (m)*
1	C61－C37	11,240
2	C44－C61	7,600
3	C37－C35	4,730
4	C35－C36	2,890

*：ラインセンター間の距離は、人工衛星画像から計測したものであり、誤差がある。



(ゴムバンドを用いて腰の位置で固定)

図3 心拍測定装置

図4に示す。C35, C36, C37, C44は、自然の丘を利用したものであるが、C61はマウンドであり、石が置かれているものである。

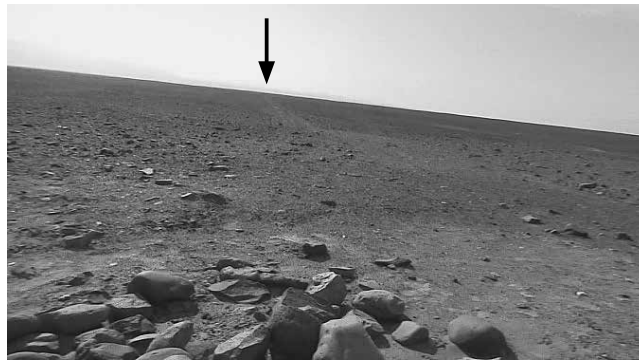
被験者には、GPS ロガー（Garmin eTrex30）および心拍測定装置を装着させた。GPS ロガーの装着位置は衣服のポケット内、心拍測定装置はゴムバンドを使用して腰の位置に装着した(図3)。実験中は、GPS ロガーにより GPS 座標（WGS-84：UTM）を10秒間隔で記録した。また、心拍計により、被験者の心拍数（拍／分）を計測した。これらの実験用装備に加え、世界遺産であるナスカ台地を保護するために、接地面の広いゴム製サンダルを装着させた。4つのルートともに同じ装備とゴム製サンダルで歩行させた。日照や気温等を考慮し、被験者は長袖服とフード付き帽子などを着用していた。

被験者は、実験で使用したラインセンター間の

歩行経験がない、ペルー人男性である^{注4)}。実験前に歩行に影響するような四肢の障害がないこと、これまでに心臓について何らかの指摘を受けたことがなく、心拍が過去および現在において正常であることを、被験者の申告に基づいて確認した。

ルート1のスタート地点の近くまで車で移動した。車用道路の使用は、ペルー文化省より許可を得た。車内で心拍測定装置を装着した後、歩行によりスタート地点（C61）まで移動した。実験では、スタート地点で被験者に対して、「ラインセンターからラインセンターまで、いつもの速さで歩いてください」、「歩いている時は喋らないでください」、「ラインセンターでのみ休憩を取る事が出来ます」と母国語のスペイン語で説明し、実験を開始した。まず、10分間の立位による安静を取った。その後、実験助手が歩行する方向を指でさし、次のラインセンターまで行くことを伝えた後、

ナスカ台地におけるラインセンター間の移動距離と負担との関係―歩行時の心拍数を指標として―（本多 薫・門間政亮）



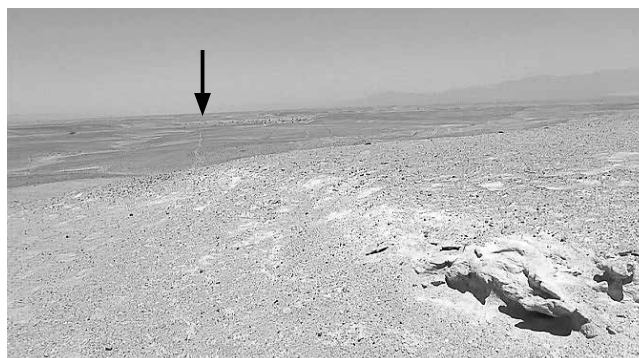
(手前の石群がラインセンター C61, 矢印が C37に伸びる直線)



(左の丘がラインセンター C44, 丘下から矢印の側に C61への直線が伸びている)



(丘の全体がラインセンター C37, 矢印の側が C35のある方向)



(手前の地面がラインセンター C35, 矢印が C36に伸びる直線)

図4 各ラインセンターのスタート地点の風景

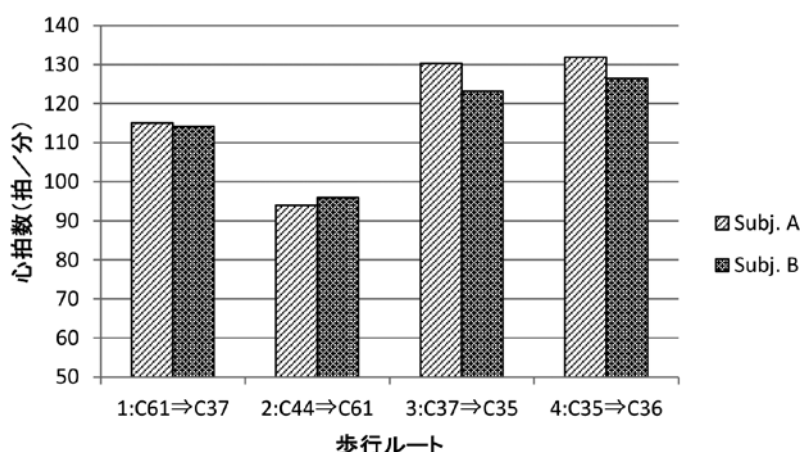


図5 各歩行ルートにおける心拍数

「Vamos! (スタート)」と声をかけ、歩行を開始させた。実験助手は被験者の十数m後方を追従した。ラインセンター C37に辿りついた時点で「Pare! (ストップ)」と声をかけ、歩行を停止させた。続けて、ルート 3 (C37からC35)、ルート 4 (C35からC36) を歩行させた。但し、心拍数を安定させるために、C37では50分間の休憩後に10分間の立位による安静を、C35では歩行開始前に10分間の立位による安静を取った。歩行中に地図を携帯させたり、実験助手による助言や指導は行わなかった。実験助手がビデオカメラ (HDR-PJ590, SONY) で歩行の様子を撮影した。ルート 2 (C44からC61) においても同様に、C44で歩行開始前に10分間の立位による安静を取り、歩行させた。実験は各被験者 2 日間で行ったが、天候は全ての日程で晴天、視界良好であった。

4. 心拍数と座標データの処理

心拍数は 1 分間隔のデータであり、GPS ロガーにより測定した GPS 座標 (緯度・経度) の座標データは、10秒間隔のデータである。そのため、6 座標データ毎 (1 座標データ/分) に再サンプリングし、歩行時の心拍数と座標データを同期させた。同期したデータは、地理情報システムソフトウェア ArcGIS (ESRI) を用いて等高線図上にプロットし、心拍数10拍毎に色を変えて表示した。ただし、最低値が57のため、最低範囲のみ57拍から60

拍とし、61-70, 71-80, . . . , 161-170と12段階で心拍数を示した。

5. 実験結果

図5に4つの各歩行ルートにおける心拍数 (歩行中の心拍数の平均値) の結果を示す。最も心拍数が多い (心臓の拍動が速い) 歩行ルートは、ルート 4 (C35から C36) の130 (拍/分) 前後である。次いで心拍数が多いのは、ルート 3 (C37から C35) の125 (拍/分) 前後、ルート 1 (C61から C37) の115 (拍/分) 程度、ルート 2 (C44から C61) の95 (拍/分) 程度となっている。特にルート 2は他の3つのルートと比較して、心拍数の増加が少ない。この傾向は、被験者 2 名に共通している。また、被験者 2 名の歩行実験は異なる日時に実施したが、同じ傾向であることから日間差は小さいと思われる。次に図6に歩行距離と心拍数との関係を確認するために、散布図を示す。歩行の距離が長くなると心拍数が増加したり、逆に減少する傾向は見られない。よって、ラインセンター間の距離と心拍数の間には関係が見られず、歩行距離による心拍数の影響は小さいことが確認できた。

上述したように被験者 2 名の心拍数の変化が同じ傾向であることから、被験者 A を代表として、歩行中の心拍数の変化を図7に示す。ルート 1 は、歩行開始時の前半から中間の地点までは、100 (拍

ナスカ台地におけるラインセンター間の移動距離と負担との関係―歩行時の心拍数を指標として―（本多 薫・門間政亮）

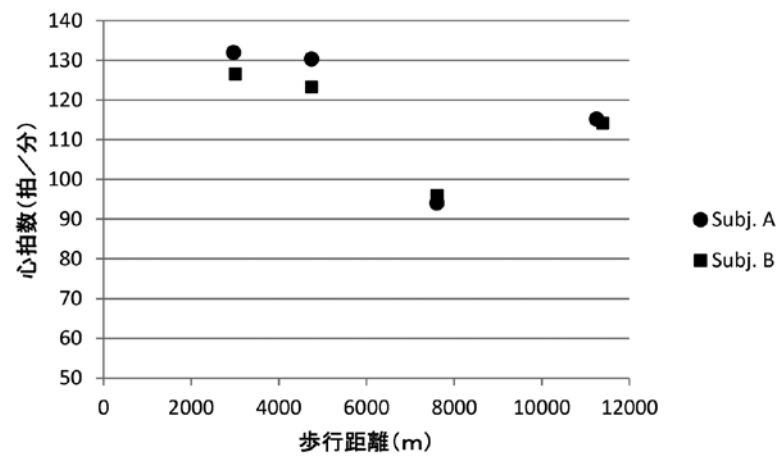
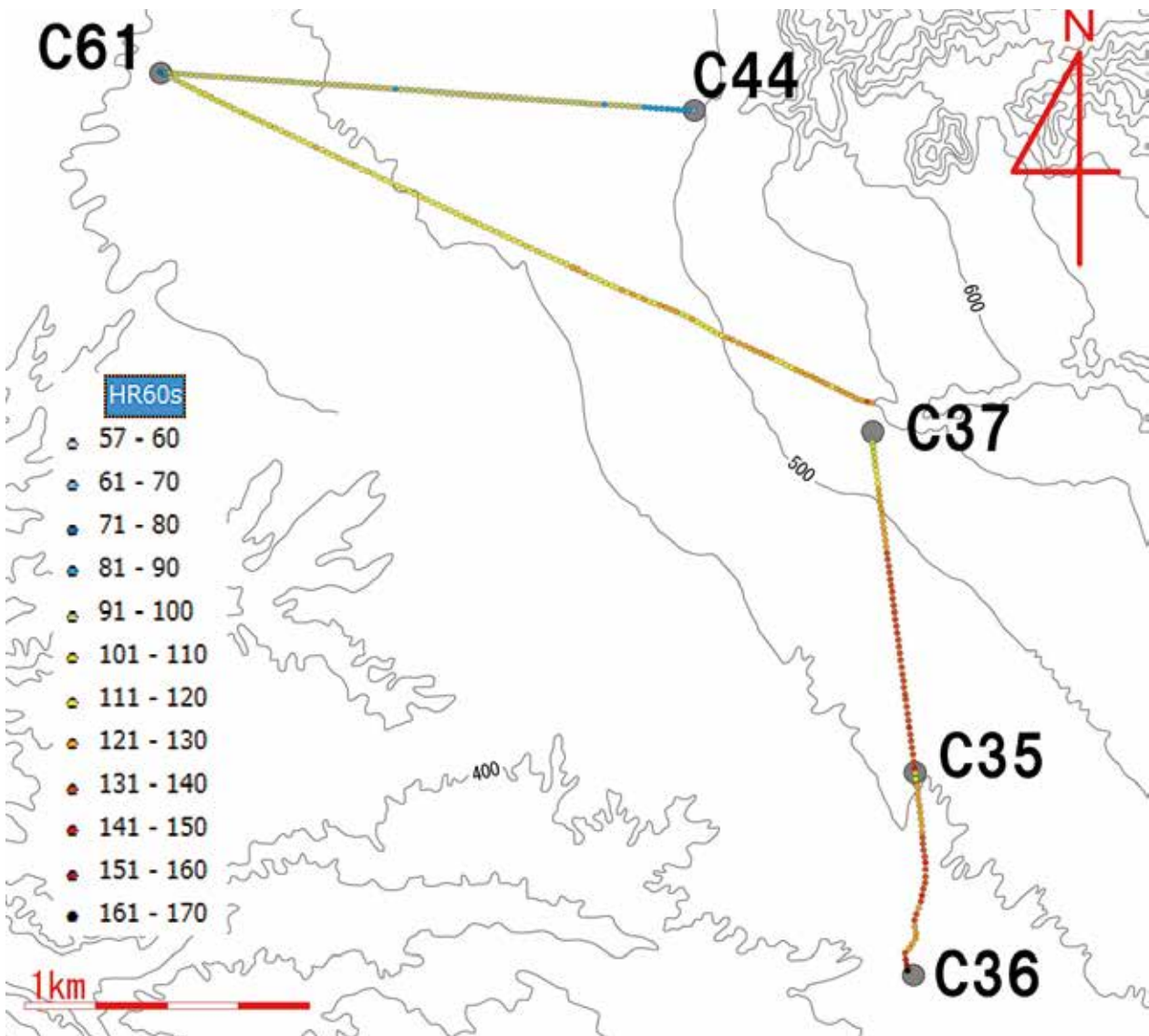


図6 歩行距離と心拍数との関係



ルート1: C61→C37, ルート2: C44→C61, ルート3: C37→C35, ルート4: C35→C36

図7 GPS座標（緯度・経度）による歩行軌跡と心拍数の変化（被験者A）



（前半から中間の路面状況）



（中間から後半の路面状況）

図8 ルート1（ラインセンター C61と C37間）の地面

／分）前後となっている。その後、中間から後半では、100（拍／分）前後と120（拍／分）前後が交互に見られ、ゴールである C37に近づくにつれて、120（拍／分）が多く見られる。図8にルート1の前半から中間と、中間から後半の路面状況を示す。前半から中間の路面状況は、小石が敷き詰められている地面で、平坦で安定しており大きな起伏などは見られない。また、中間から後半の

路面状況では、水が流れた跡があり、小石がある地面とない地面が確認できる。

図7のルート2は、歩行開始直後では心拍数が70（拍／分）前後である。そして、前半・中間から後半の地点までは、90～100（拍／分）程度となっている。図9にルート2の前半から中間と、中間から後半の路面状況を示す。前半から中間および中間から後半の路面状況は、小石が敷き詰められ



（前半から中間の路面状況）



（中間から後半の路面状況）

図9 ルート2（ラインセンター C44と C61間）の地面

ている地面で、平坦で安定しており大きな起伏などは見られない。

図7のルート3は、歩行開始直後では心拍数が100（拍／分）前後であるが、その後120（拍／分）前後となっている。前半から中間、後半の地点までは、140（拍／分）前後となっている。図10にルート3の前半から中間と、中間から後半の路面状況を示す。前半から中間の路面状況は、水が流れた

跡があり、小石がある地面とない地面が確認できる。そして、中間から後半の路面状況は、洪水の影響により直線の地上絵が消えており、地面の起伏が大きくなっている。

図7のルート4は、歩行開始直後では心拍数が100（拍／分）前後であるが、その後120（拍／分）前後となっている。中間から後半では、140（拍／分）前後となり、ゴールのC36に到着する直前



（前半から中間の路面状況）



（中間から後半の路面状況）

図10 ルート3（ラインセンター C37と C35間）の地面

では、150～160（拍／分）となっている。図11にルート4の前半から中間と、中間から後半の路面状況を示す。前半から中間の路面状況は、起伏があり上り下りを繰り返す道のりである。そして、中間から後半の路面状況は、洪水の影響により地面が深く削られ、川床となっており地面の起伏が大きい。さらにその後C36（図11の矢印）へ向かうため、登り道を進むことになる。

6. 考 察

ラインセンターとそれをつなぐ直線の地上絵の制作目的は明らかになっていないが、筆者らは人工衛星画像の分析などから、複数のラインセンターを経由して台地の南北が繋がれていることを明らかにしている²⁾。そして、ナスカ台地に人の移動や情報を伝達するネットワークが存在した



（前半から中間の路面状況）



（中間から後半の路面状況、矢印の丘が C36である）

図11 ルート4（ラインセンター C35と C36間）の地面

との仮説を立てて、ラインセンターと、それをつなぐ直線の地上絵の構造を検討するとともに、ラインセンター間を歩行による移動が可能であるのかを歩行実験を実施して検証している³⁾。その結果、複数のラインセンターとそれをつなぐ直線の地上絵を利用することで、迷うことなく南北を移動できることを明らかにした。また、ナスカ台地のネットワーク図（図2）を見ると、ラインセン

ター C61と C37をつなぐ直線が最も長距離であることがわかる。その距離は11,240mにも及ぶ。この距離を歩行する場合に、生体への負担から見て無理なく歩行できるのかを検証する必要がある。そこで本研究では、ラインセンター間の移動距離が異なる4か所のラインセンターをつなぐ直線の地上絵を取り上げ、歩行時の心拍数の変化からラインセンター間の移動距離と生体への負担との関

係について検討した。その結果、ラインセンター間の移動距離と心拍数の間には関係が見られず、最も歩行距離の短いルート4（C35とC36の間）の心拍数が最も多く、次いで歩行距離の短いルート3（C37とC35の間）の順番となった。逆に最初に着目した最も歩行距離の長いルート1（C61とC37の間）、2番目に歩行距離の長いルート2（C44とC61の間）の心拍数は、ルート3と4と比較して少なかった。心拍数の増減から物理学的作業強度（運動強度）を評価することができる⁷⁾、運動の強度を徐々に増加させ、その時の心拍数と酸素摂取量を記録すると、両者の間にはほぼ直線関係がみられる¹¹⁾と言われている。言い換えれば、心拍数が増加したということは運動強度が大きいことを示し、その変化は運動強度に対応しているということである。今回の実験結果から、最も生体に負担が大きい歩行ルートは4であり、負担が小さい歩行ルートは2であると考えられる。また、心拍数における運動強度の自覚的および他覚的判断法¹²⁾によれば、心拍数が100（拍／分）から120（拍／分）程度は“日常生活の強度、普通に歩く、ゆっくり走る”など、心拍数が140（拍／分）を超えると“かなり速く走る”などの運動強度となる。ルート1の歩行中の心拍数は、120（拍／分）程度、ルート2の歩行中の心拍数は、100（拍／分）程度であり、この2つのルートは生体への負担がさほど大きくないと思われる。しかし、ルート3、ルート4の歩行中の心拍数は、140（拍／分）を超える時があり、比較的負担が大きいと推察される。

ラインセンター間の移動距離と心拍数の間には関係が見られなかったことを考察する。実験結果で述べたが、心拍数の増加が少なかったルート1とルート2の地面は、“小石が敷き詰められている地面で、平坦で安定しており大きな起伏などは見られない”など地面は安定している。また、心拍数の増加が大きかったルート3とルート4の地面は、“水が流れた跡があり小石がある地面とな

い”など地面は不安定であった。阿子島¹³⁾は、ナスカ台地には洪水等の影響を受ける場所と受けない場所があり、山地・丘陵地から発した河川はMajuelos川に注ぐため、それより北西側には及ばない、と述べている。図12にナスカ台地をセスナ機から撮影した写真を示す。阿子島が指摘したように、ナスカ台地の北西部には洪水の影響は少なく安定した土地、また東部には洪水の跡（水の流れた川の跡）が確認できる。今回、実験で歩行に使用したC61（ルート1とルート2の始点・終点）はナスカ台地の北西部に位置し、またC37とC35（ルート3とルート4の始点・終点）は東部に位置する。また、渡邊¹⁴⁾は、ラインセンターが台地を認知する上での参照点や移動の際のガイドラインになることなど、移動には有効な指標になることを述べている。洪水の影響を受けやすい東部にあるラインセンターC37とC35は、視認性（移動の際のガイドライン）を確保するために、遠方から発見しやすい高台（自然の丘）を利用している。このことが結果として、ラインセンター間の直線の地上絵が制作された場所が、起伏がある地形となったと考えても不思議ではない。

ナスカ台地の北西部にあるC61を始点・終点とする直線の地上絵は、平坦で安定しており大きな起伏などは見られず、心拍数の変化からも被験者の負担が大きくないことから、移動距離を長くすることができたと考えられる。一般的に道路網や航空路などのネットワークを構築する場合には、効率性の視点から複数の中継地点を経由せずに、起点と終点をダイレクトに直線でつなぐ最短経路（最短距離）が検討される。安定性が確保されているのならば、ナスカ台地を効率的に移動するには、ルート1やルート2のような移動距離の長い、直線の地上絵を利用することは有効であると考えられる。

7. ま と め

本研究では、筆者らが示したナスカ台地のネットワーク図において最も長距離であるラインセン



（台地の北西が安定した土地（矢印）、写真右側に洪水の跡が確認できる）

図12 ナスカ台地の写真（台地中央部，上が北）

ター間（C61とC37）を含む，ラインセンター間の距離が異なる4か所のラインセンターをつなぐ直線の地上絵を取り上げた。この4つの直線の地上絵に沿って歩行による移動を行った際の心拍数を計測して，心拍数を指標とするラインセンター間の移動距離と生体への負担との関係について検討した。その結果，(1)ナスカ台地の北西部の安定した土地に制作された直線の地上絵に沿って歩行で移動することは，長距離であっても生体への負担が小さいこと，(2)ナスカ台地の北西部以外は，洪水の跡や起伏がある地形であるために，直線の地上絵に沿って歩行で移動することは，短距離であっても生体への負担が大きいこと，(3)ナスカ台地の北西部にあるラインセンター C61を始点・終点とする直線の地上絵は，心拍数の変化からも歩行者の負担が大きくないことから，移動距離を長くすることができたと考えられること，などを示した。今後，ナスカ台地の北西（安定した土地）とそれ以外の土地でのラインセンターと，それをつなぐ直線の地上絵の分類や使用された時期との関連などを検討したいと考えている。

本研究の一部は，文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究（研究領域提案型）「アンデス比較文明論」（課題番号26101004）の助成を受けて行われた。

注

- 1) 2009年度～2015年度の調査で確認したラインセンターは163点である。ラインセンターの数は，今後の分析や現地調査等の結果で修正されるため，確定ではない。
- 2) 現地調査は，ペルー文化省の調査許可を得て実施している。
- 3) ラインセンター間の距離は，人工衛星画像から測定したものであり，数十mの誤差が含まれている可能性がある。
- 4) 被験者3名の心拍数を計測したが，正常に測定できた2名を取り上げることにした。

文 献

- 1) Sakai Masato, Yoshimitsu Ccoyllo, Jorge Olano,

Yuichi Matsumoto, Atsushi Yamamoto: Informe Final del Proyecto de Investigación Arqueológica de las Líneas y Geoglifos de la Pampa de Nasca (Séptima Temporada), Ministerio de Cultura del Perú, pp.1-933, 2015.

- 2) 本多薫：ナスカ台地におけるラインセンター間のネットワーク，季刊地理学，第62巻4号，234-238，2011.
- 3) 本多薫，門間政亮：ナスカ台地におけるラインセンター間の移動について（第2報）—南北歩行実験による検証—，山形大学大学院社会文化システム研究科紀要，第10号，33-47，2013.
- 4) 野口正一，吉岡良雄：ネットワークの基礎，オーム社，東京，1991.
- 5) 神山昭男，斎藤和雄：生体負担の測定と評価をめぐって，人間工学，第29巻6号，343-348，1993.
- 6) 横溝克己，小松原明哲：エンジニアのための人間工学—第4版，日本出版サービス，東京，2006.
- 7) 長町三生：生活科学のための人間工学，朝倉書店，東京，1989.
- 8) 山地啓司：運動処方のための心拍数の科学，大修館書店，東京，1981.
- 9) 伊藤謙治，小松原明哲，桑野園子（編集）：人間工学ハンドブック，朝倉書店，東京，2003.
- 10) Aveni F. Anthony (ed.): The Lines of Nazca, The American Philosophical Society, Philadelphia, 1990.
- 11) 玉木信和：からだと運動の科学（第2版）—健康な生活のために—，学術図書出版，東京，1998.
- 12) 山地啓司：心臓とスポーツ—心拍数による健康法—，共立出版，東京，1982.
- 13) 阿子島功：ナスカ台地の地形分類図と地上絵，山形大学大学院社会文化システム研究科紀要，第4号，139-149，2007.
- 14) 渡邊洋一：ナスカ台地の空間認知，山形大学大学院社会文化システム研究科紀要，第4号，151-163，2007.

The Relation of Migration Distance and Physical Strain between the Line Centers on the Nasca Upland: Walking Heart Rate as an Index

HONDA Kaoru

(Psychology & Information, Cultural Systems Course)

MONMA Tadasuke

(Ube Frontier College)

We conducted a line migration experiment on foot between the line centers on the Nasca upland in Peru in South America. During the experiment, the subject wore a heart rate meter in order to measure the heart rate. We then studied the correlation between migration distance and physical strain. Results showed that (1) walking on stable ground in the northwest area of the Nasca upland imposes little physical strain despite the long distances traversed, and that (2) walking on the ground in the Nasca upland, except for the northwest area, imposes a heavy physical strain despite being a short distance because the ground is more rugged or flood damaged.