

ブラジル北海岸にみられる隕石落下による巨大津波痕跡

Traces of a gigantic tsunami caused by a meteorite falling observed on the north coast of Brazil

都司 嘉宣
Yoshinobu TSUJI

1. はじめに

筆者は、Google Earth 社によって提供された全地球衛星写真にて、アフリカ・Madagascar 島と Mozambique 共和国、およびオーストラリア北部の Carpentaria 湾の沿岸に大規模な津波痕跡が見られることを指摘し、これら各地の海岸の津波痕跡画像を紹介したことがある (都司, 2023-a, -b, -c)。これらの海岸の巨大津波の痕跡が隕石の落下による津波であることを指摘したのは、Abbot ら (2006, 2007), Masse ら (2006, 2007), および Gusiakov ら (2010) によるものであって、これらの先行研究者たちはこれらの巨大津波が隕石の落下によって発生したものであることを、堆積物の分析や海底クレーターの調査によって実証している。

これらの隕石落下による巨大津波の特徴は、地震や火山噴火によって引き起こされた通常の津波とは異なる、次のような特徴があることが指摘されている。

- (1) 陸上に進入した海水には、海底に堆積していたマリン・スノーに由来すると見られる、 CaCO_3 を主成分とする白色の固体成分が含まれ、これが陸上に運ばれ堆積した。
- (2) 海岸線から、幾本もの手の指のように細く長く、互いに平行に陸上に伸びた白色の堆積物の細長い三角形状、

あるいは線状の痕跡を残すことが多い。Gusiakov ら (2010) はこのような線状痕跡を “Chevron dune” (シェブロン砂丘) と呼んでいる。Chevron の原義は、軍服の袖に施された細長い二等辺三角形の文様を意味する。図 1 は、Madagascar 島南部 Ambazoa 付近の海岸の隕石落下津波の痕跡である。幅約 200m, 長さ約 1 ~ 2km の平行した幾本もの線状の Chevron dune の列が観察される。

- (3) このような Chevron dune の列は、一定方向に平行な細長い三角形、あるいは線分の列をなしているが、その方向は、先行地形の影響をほとんど受けていないように見える。すなわち、Chevron dune 列が形成される前に、海岸付近の平野部を流れる川などがあつたはずであるが、それらにはほとんど影響されず、各 Chevron dune は一定方向に直線的に伸びていることが多い。さらに、ある Chevron dune が先行する河川と交差した場合、川の対岸側に Chevron dune の延長部が観察されることがある。
- (4) ある海岸に Chevron dune の群列が見られ、その地点から数 km から数十 km 離れた海岸にも別個の Chevron dune の群が見られる場合、この離れた 2 地点での Chevron dune 群の方向はほぼ同一であることが多い。

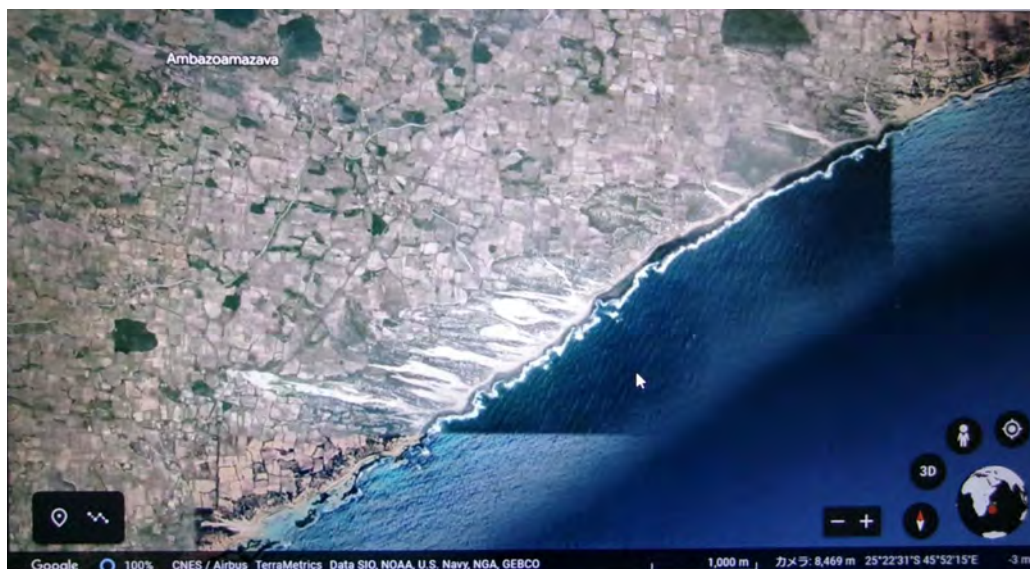


図 1 Madagascar 島南方海岸の Ambazoa 付近の海岸線の衛星画像に見られる Burtckle Crater 隕石落下による津波痕跡である。海岸線から内陸に向かって各々平行に走る Chevron dune の列が見られる (都司, 2023-a)

- (5) Chevron dune の白砂丘の先端から、さらにその長さの数倍延長した内陸地点に植生（色調）の変化する線が観察されることが多い。隕石落下による津波がこの海岸を襲った際、白色の CaCO_3 の固体成分を Chevron dune として堆積した後、海水だけがその延長部にまで侵入したために、この線までの範囲の残留塩分のために、その後の年代の植生が妨げられたため生じたものと考えられる。

以上 (1) から (5) までの特徴は、図 1 を始め Madagascar 島南部海岸の各地で共通した特徴である。上述 (2) に記した棒状の Chevron dune の幅は、落下した隕石の直径にほぼ相応していると推定される。

以上の特徴を念頭に置いて、隕石落下によると推定される Brazil 北海岸の津波痕跡を見ていくことにする。

2. Brazil 国北岸の隕石落下による津波痕跡

Gusiakov ら (2010) に掲載された世界地図には Madagascar 島や Mozambique 海岸、あるいは Australia 以外に、南米大陸の Brazil 国北岸にもこのような隕石落下によるものと見られる津波痕跡が見られることが表示されている。そこで本稿では、Brasil 国北岸の津波痕跡を Google Earth が公開している衛星写真上に検出し、その分布、形状について述べることにする。

Brazil 国で津波痕跡が観察される海岸は、Amazon 河口から約 500km 東に位置する Sao Luis (サン・ルイス) から東に約 1000km の海岸線上で、ここから Fortaleza を経て Brazil の海岸線の北東の隅角部に位置する Natal のあたりまでである (図 2)。この海岸線は大西洋に面しているが、この海域にはプレートの沈みこみを示すプレート境界面はなく、津波を引き起こすような、巨大地震が発生するような海域ではない。したがって本稿で紹介する映像はすべて隕石落下による津波の痕跡



図2 Brazil国北海岸で津波痕跡が観察される海岸(長方形内)



図3 津波痕跡のある海岸のガイド図 Fの後の番号は、本稿中の図番号

であると判断される。

それでは、痕跡の見られる最西点の Sao Luis 海岸から、以下順に海岸線に沿って東に進む形で映像を見ていこう。

2.1 Sao Luis 付近の海岸

津波痕跡海岸の最西端に位置する **Sao Luis**

(サン・ルイス)市は、ラマニョン(Maranhao)州の州都であって、人口110万人の大都会である。メアレム川、イタペクル川、ピンダレー川の三角州であるサン・マルコス湾内のサン・ルイス島にある。17世紀初頭にフランス人が植民地の拠点として建設された都市である。ラマニョン連邦大学(UFMA)があ

るため、将来現地調査を試みるさいには、ここで信頼のおける研究協力者が得られる可能性があろう。

図 4 は Sao Luis 市の北方海岸に見られる津波痕跡である。この写真の左下隅には Sao Luis 市の一部である **Raposa** の市街地が映り込んでいる。写真上部には、市の北東約 5km にある海岸線が映っており、図の A 地点から東、サン・ルイス島の北東端に当たる G 点までの海岸に、海岸線から西南西方向に延びた Chevron dune を形成する堆積物の白い帯が見られる。

G 点から海岸線は南方向に折れ、B 点までの海岸にも堆積物の帯が観察できるが、この間には明白な Chevron dune は見られない。

A・G 間の Chevron dune の中で、C 点に至るものが最も長く、ここでの Chevron dune の長さは約 2.0km に達する。 CaCO_3 の堆積物からなる Chevron dune の先端は C 点であるが、津波による海水侵入はさらに約 0.6km 内陸の D 点付近にまで達したものと推定される。この D 点付近で地表の色彩が海岸側の淡色から内陸側の濃色と変化している。この淡色の領域は海水が及んだために植生が十分に回復しなかった部分、濃色の部分は海水の侵入が及ばなかったために、植生が自然状態で維持された部分であると推定される。

E 点付近にも G 点付近から侵入した Chevron dune の陸上侵入が極大になった場所が見られる。

Fig.3 の A 点・G 点間の海岸に多数見られる指のような形状の Chevron dune の流向は、みな互いに平行であって、ほぼ（南 55 度西）＜真南の方向から西に 55° の角度をなす方向、の意。以下この表示を行う＞方向に揃っている。海岸線からおおむね 1.5km 付近まで進行して、各 Chevron dune の先端付近では、三日月状の白色の堆積を残している。1 本の Chevron dune の「太さ」は約 200m であって、これが落下隕石のサイズを反映しているようである。地表の植生の変色域は、三日月状の Chevron dune の先端を超えてさらに内陸に達しており、白色の堆積場所から約 2km ぐらいいまで（F 点付近まで）海水が進行したらしく、この付近まで濃い緑色の植生が失われている。

図 4 の D 点と F 点の間で、川筋が少し不自然な形となっている。すなわち、二本の川が上流側で 1 本の川に合体しているように見える。すなわち、上流では 1 本の川が途中で 2 本の川に分岐して、それぞれ別方向に流れ出ているように見えるのである。自然発生した川ではこのようなことは、まず起きない。一時に大量の水が上流の平野部に流れ込む事



図 4 Sao Luis の東北方向の海岸に見られる津波によって形成された Chevron dune 下方に示された尺度の全長は 2km である。

態があったことを示している。この点も、この図の津波痕跡が隕石落下による津波であったことを物語っているであろう。

図の I 点の西側で、2 本の別個の川が流れの途中で繋がっているように見えるのも、普通の河川としては不自然である。以上のような河川形状の不自然さは、これらの川筋が長年月をかけて形成されたものではなく、丘陵の背後に一時に大量の水が流れ込んだことを示しているようである。

2.2 Santo Amaro 海岸

Sao Luis の約 F450km 東方に、Santo Amaro 村とレンソイス・マランヤンセス (Lencois Maranhenses) 国立公園があり、ここの衛星画像を図 5 に示す。ここでは海岸線から E 点付近まで、約 10km の幅で白く広く見えるのは津波痕跡ではなく、ほぼ全面石英砂が堆積した海岸である。この石英砂の海岸がレンソイス・マランヤンセス国立公園となっているのである。ここで誤解してはいけないのは、この幅広の石英砂の海岸砂丘全体が、本稿で述べる津波痕跡ではないことである。この石英砂丘は国立公園より 100 キロほど南のパラ

ナイーバ川が上流から河口まで運ばれた石英成分が、河口に達した後は数万年の年月をかけて大西洋の沿岸流により国立公園に面した海岸近くまで流されて来て堆積したものである、と検証され確定している。

津波痕跡は海岸線と A・D・B を結ぶ線に挟まれた幅約 2km ほどの帯状領域に限られ、石英砂の砂丘の上を覆っている。よく見ると、幅広の石英砂の砂丘部分は純白であるが、海岸沿いの津波痕跡の部分は、薄く黄色を帯びている。

さらに、図 5 をよく見ると、石英砂の砂丘の部分は、小さい水面が多数散りばめたような構造をしているために細かい斑点状に見える。しかし、津波痕跡である海岸線に沿った狭い帯状の部分 (CD 間) では、このような斑点構造にはなっておらず、のっぺりしている。

2.3 Paliuno Neves 村

図 5 の下端に見える Berreirinhas 村の南東約 12km の位置に Paliuno Neves 村がある。この村の海岸線の様子を図 6 に示す。津波による Chevron dune は A - B - D を結ぶ線と海岸線の間に見える。ここでは津波の侵入方



図 5 Santo-Amaro 付近の津波痕跡 津波痕跡は A - D - B を結んだ線と、海岸線との間の狭い帯状領域である。DE 間は、石英砂の砂丘であって、津波痕跡ではない。



図 6 Paulino Neves 村付近の海岸の様子

向は（南 70° 西）の方向で、海岸線からの長さは約 3km である。A 点より北西側の海岸線にも津波による白い堆積物の線が連なって見えるが、この部分では Chevron dune は現れてはいない。C 点付近は図 5 でも見られた石英砂の砂丘地帯で、津波とは無関係である。E 点、および F 点付近の海岸にも津波による堆積物が見える。

G 点付近にも Chevron dune が見えるが、B 点付近とは方向が異なっており、こちらの方は真西方向に侵入している。この付近では Chevron dune の堆積物の先端の延長上で、色の濃い領域があることに注意したい。この付近は植物が濃く繁茂している場所であろう。ここで、水分が豊富になっていることを反映していると推定される。

2.4 Parnaíba 市付近

前項で述べた Paulino Neves 村から約 80km 東南東に進んだところに Parnaíba 市がある。この村までの海岸線の様子を図 7 に示す。この図の左端には図 6 の右端の G 点付近の海岸が現れている。ここから A 点の海岸までは、大きな川の河口三角州となっていて、津波堆

積物は消滅していて見られない。

A 点から C 点までの約 50km の海岸線には、再び津波堆積物の白線が連なっている。B 点から C 点までの海岸では、長い Chevron dune が（南 70° 西）方向に延びている。C 点付近では侵入距離が 7～8km に達している。D 点付近では、Chevron dune の流れた南側の丘陵の連なりによって侵入が阻止されている。

2.5 Sofradinho 村・Chaval 村間の海岸線

Panaíba から約 60km と南東に進むと Chaval（シャバル）村に到達する。途中、Sofradinho（ソフラジーニョ）村がある。この間の海岸線の様子を図 8 に示す。

Sofradinho 村付近の海岸線上の B 点から出発した Chevron dune は A 点付近にまで達していて、その方向は（南 70° 西）であるが、その長さは実に 10km あまりにも達する。C 点付近の海岸は、緩やかな半島状の海岸線の影にあたる部分である。津波堆積物はこの付近の海岸で途切れている。その東の D 点まで進むと、ふたたび著しい Chevron dune が現れている。ここでの長さは 6km 程度であるが、堆積物で覆われた部分の白さが濃いこ

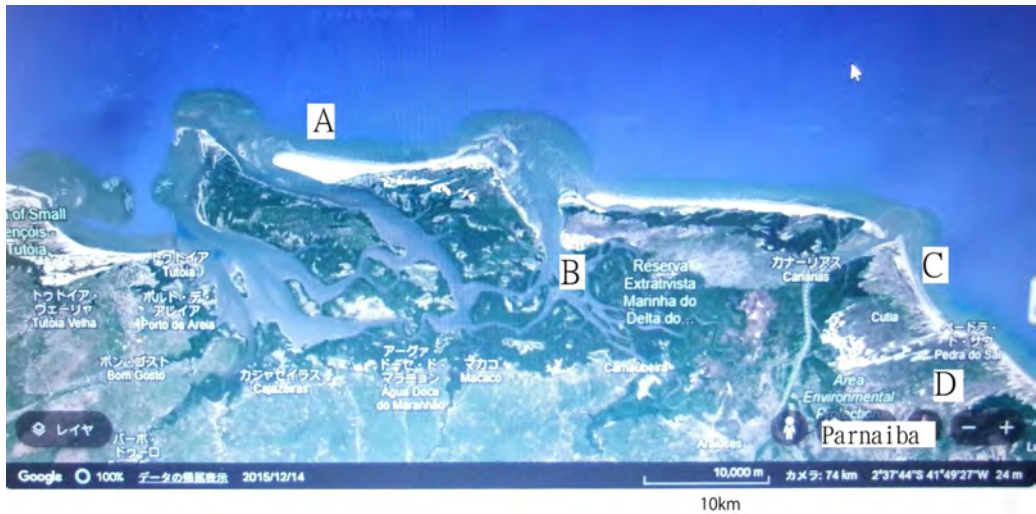


図7 Parnaíba 市までの海岸線

とに注目したい。堆積物の量が多かったことを示しているのであろう。

図8で、もう一つ注目すべきことは、先行河川が津波堆積物に阻まれて多数の「ダム湖」が生じている様子がみられることである（点P～点Tの5点）。

S点のダム湖は幅約8km、長さ約15kmに達する広大な湖となっている。

2.6 Camocim 市付近

Chaval 村の東北東約50kmのところに **Camocim** (カモシン) 市がある。同市は **Coreau** (コロ) 川の河口左岸に位置している。津波の堆積砂丘はこの川の河口右岸側（図9のA点）に存在する。この堆積砂丘のため、その背後の平野部（B点）では川の支流が交錯して湿地が出現している。河口の東のA点からC点を経てE点までの約25kmの海岸は、



図8 Sofradinho 村・Chaval 村間の海岸の光景 B点、D点付近に長い津波堆積物からなる *evron dune* が見られる。P～T点の5カ所には、先行した河川の流れを津波堆積物が堰き止めて形成されたとみられる「ダム湖」が出現している様子が見て取れる。



図9 Camocim 市とその東側の海岸線

幅広く Chavron dune が見られる。ことに C 点付近に発した Chevron dune は D 点付近に達するものは、その長さが約 8km に達する。方向は (南 65° 西) にだいたいそろっている。この海岸でも、津波堆積物が、先行する川を堰き止めていて、3 か所でダム湖を生じている (F, G, H 点)。ことに H 点のダムに相当するところには“Lagoa Grande (大きな湖)”という地名が記されている。

この図でもう一つ注目すべき点は、平野部のうち、P, Q, R, S の堆積物の背後に当たるところで、色が濃くなっていることである。これらの場所は、津波堆積物が海側に「壁」を作ったため、水分が多くなり、植物の密度が高くなった場所であろうと推定される。

2.7 Pedra Furada 岬付近

Camocim 市から約 50km 東に進むと、Pedra Furada 岬の先端に達する。ここは、この岬を先端とする浅い半島状の海岸線となっており、津波はこの半島の根元を東から西に通抜けたと見られる (図 10 の A 点から B 点へ)。図 10 で半島の軸より左側 (西側) は、津波は峠を越えた後に、下り斜面に沿って流下していったものとみられる。それを示すのは、堆積砂丘の「三日月形の向き」で

ある。図 10 によれば、三日月形の弦の上下端が左方向に向いている。これは左に向かって流下したことを示す兆候である。

C 点のところに明瞭なダム湖が生じているのが見える。

2.8 Icalai 村付近海岸

Pedra Furada 岬から約 100km ほど東南東に進むと Icalai 村に到達する。この村の約 5km 手前に Moitas (モイタス) 村のゆるい半島状の場所がある。

図 11 は、Moitas 村、および Icalai 村を含む海岸の光景である。ここでも Moitas の小半島の根元部分を横断する Chevron dune の津波堆積物の痕跡をたどることができる (A 点→B 点→C 点)。ここで注目すべきは、B 点のところで、先行する川を乗り越えて Chevron dune が、さらにその先の C 点にまで伸びていることである。出発点の A 点から B 点までが約 5.5km、さらに B 点から C 点まで約 4.5km であって、結局 A 点から C 点まで約 10km の長さがあることになる。

津波によって運ばれた堆積物が C 点付近に達したことは、C 点の少し南の D 点でダムを生じて、ここを起点とするダム湖が D 点から南東方向に延びていることからも了



図 10 Pedra Furada 岬と Prea 市付近の海岸線の様子

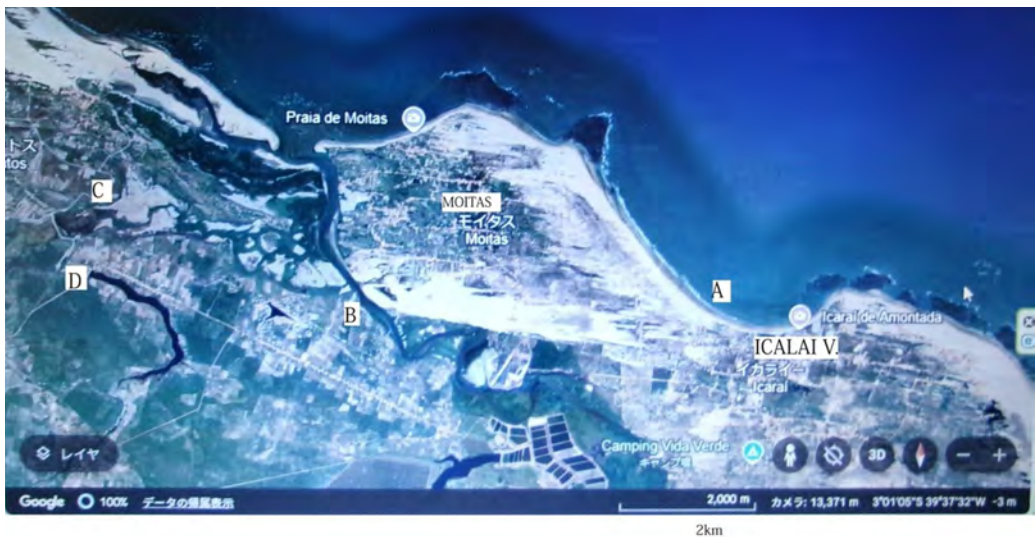


図 11 Icalai 村付近海岸の光景

解することができる。

A 点から Chevron dune が進行していった向きにも注目しよう。その方向は(北 75° 西)であって、図 9 以前の Pedra Furada 岬以西の海岸とは明らかに方向が異なっている。この解釈は難しいが、今は素直に事実だけを確認しておくことにしよう。

2.9 Trairi 村付近海岸

Icalai 村から海岸線に沿って約 60km 東南方向に進むと、Trairi (トライリ) 村に到着する。図 12 は、Trairi 村周辺の海岸の光景を衛星写真で見たものである。海岸の A 点付近から Chevron dune が(北 75° 西)方向に延びており、そこから約 9km の点 B に達している。

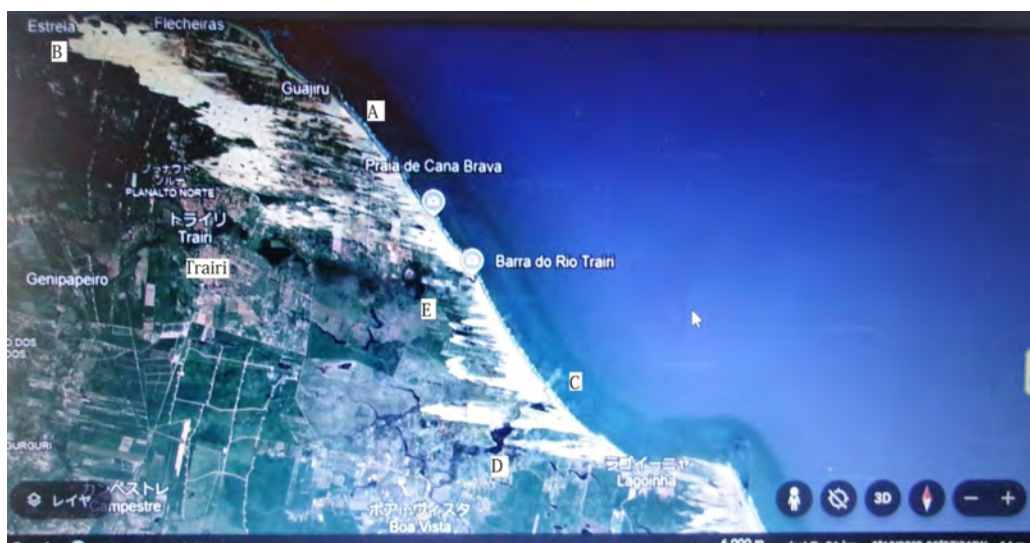


図 12 Trairi 村付近の海岸の様子

C 点付近の海岸にも Chevron dune が見られるが、この辺りでは A 点付近のような、陸上にカーテン状のパターンを描き出しているのではなく、図 1 の Madagascar 島の Chevron dune のように 1 本 1 本分離した形で堆積している。C 点付近では、これらの Chevron dune の下をかいぐって、1 本の小川が流れている。

この小川は途中 D 点付近で津波堆積物によってせき止められて上流側にダム湖が生じている。よく見ると、D 店の北側約 5km にある E 点付近にも別個のダム湖が生じている。

Trairi 村周辺には、幾本もの道路が見える。これらの道路はもちろん、西欧人がこの土地に入植した後に作られたものである。ところで、Columbus が米大陸を発見したのは 1492 年であるから、これらの道路は当然この年より後の時代に作られたものである。B 点付近を見ると、このような道路は、Chevron dune の存在を意識せずに配線されていることがわかる。この付近の入植者は、このような津波堆積物の存在を、どう意識していたのであろう。その存在を「全く知らなかった」ということはあり得ないであろう。しかし道路配線や、村の市街地の配置を観察すると、この付近に住む人々は、このような津波堆積物の存在を、さほど気かけず村の居住区や道路配

線を設計していたように見えるのである。

2.10 Trairi 村付近の海岸の様子

Trairi 村から海岸線に沿って南東に約 30km 進むと、Paracuru 市の市街地に達する。この市の東側の海岸には、A 点から Chevron dune が（北 20° 西）方向に約 8km 進行して B 点付近に達している。ここの先端部（B 点付近）の様子が他の地点の堆積の様子と異なるのは、白色の CaCO_3 の堆積幅が異常に広いことである。ここではおよそ 3km の幅にわたって白色の堆積物が分布している。

北側の海岸の C 点に河口をもつ小河川がある。この川筋は D 点付近までたどることができる。この川筋の西側は Paracuru の市街地が広がっており、東側は一面に津波が運んできた白い堆積物で地面が覆われている。D 点と E 点の間で川筋はいったん白い津波堆積物の層の下に潜り込んでいるように見える。そうして、E 点で再び川筋が現れるのだが、こことその上流の F 点の間は、「ダム湖」になっている。ここにも津波堆積物によって川筋が堰き止められ、ダム湖を生じた例を見ることができる。

ここでは、この川が市街地と津波堆積物の分布地をきちんと二分しているように見え



図 13 Paracuru 市付近の光景

る。何らかの理由で、近代にここに入植してきた西欧人は津波堆積物の堆積地には住宅家屋は建設しなかったのである。

2.11 Taiba 市・Pecem 港

Paracuru 市から海岸線に沿って約 30km 東南に進めば海岸線が小さくとがった **Taiba 市**に到達する。ここからさらに約 10km 進めば **Pecem 港**に到達する。ここも海岸線がとがった地形をなしており、この先端部から沖

合に L 字形に防波堤が築かれて港湾をなしている (図 14)。

図 14 の A 点付近を頂点として、内陸部の B 点、および海岸線の小突起点である C 点付近にまで三角形に津波堆積物による Chevron dune の集合体が見える。この南側に引き続いて C 点付近から内陸の D 点、およびその東の海岸線上の E 点とを結ぶ、やはり三角形の Chevron dune の集合体が見える。同ような海岸線の小突起の北側に相似

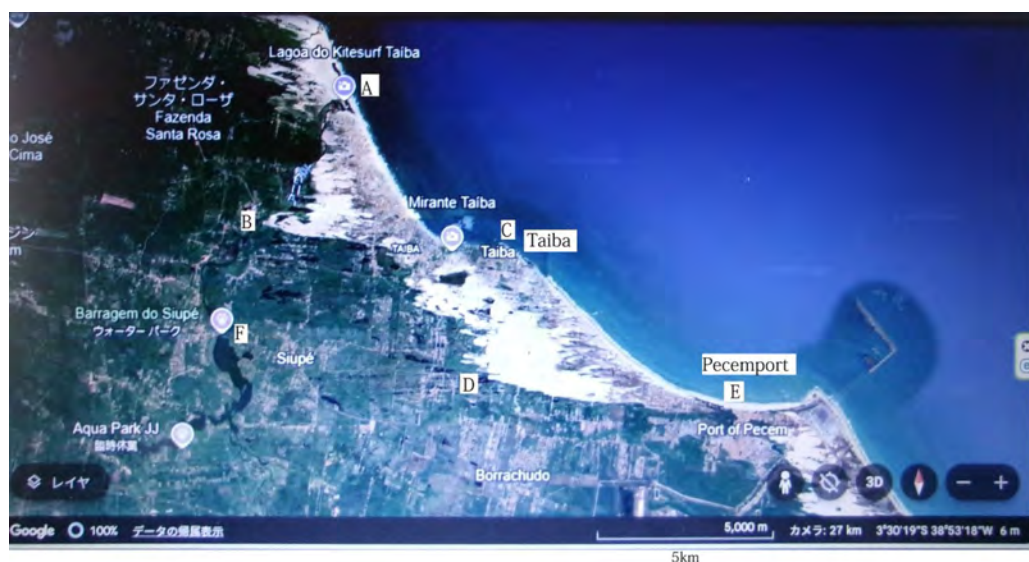


図 14 Taiba 市・Pecem 港付近の光景

な三角形の堆積分布が見られるのは興味深い。このような津波堆積形状は、津波の波源がこの地点沖合の南側にあったことを示唆しているようである。

内陸部の F 点付近を堰き止め位置とするダム湖のような地形が見える。これが、津波堆積物の堰き止めによるダム湖だとすれば、F 点と B 点の間には白色ではないが、津波によって運ばれてきた堆積物があることになる。

2.12 Fortaleza (フォルタレザ) 市

Pecem 港から海岸線に沿って約 70km 東南方向に進んだところに位置する **Fodaleza** (フォルダレザ) 市は人口 270 万人を擁するブラジル第 5 位の、この津波の被災海岸最大の大都市である。

図 15 の A 点付近に海岸から約 2km のところに白色の津波堆積物の列が見える。C 点に河口を持つ川の海岸から約 2km ほどのところから大きめのダム湖が始まっている。D 付近の海岸は、海岸線付近まで居住地・ビル街が迫っているが、ここでは津波堆積物の広がる平地の上に市街地が建設されたようである。その東側で海岸線が小先端を形成しており、その東側の海岸 E 点、あるいは F 点の海岸には白色の津波堆積が海岸線間際に、こ

れに平行に走っている。ここにも、現在の市街地は、津波堆積地の上に建設されたものと推定される根拠を見出すことができる。

F 点に河口を持つ川は、海岸からすぐのところで、津波堆積物でせき止められたものと考えられ、その上流側にダム湖が連なっている。このダム湖は途中で直角に屈曲していて、G 点付近に達している。このダム湖の全長は約 10km に達する。

2.13 Beberibe 村付近の海岸の状況

Fortaleza 市から海岸線に沿って南東方向に約 70km 進むと **Beberibe** 村に達する。この村付近の海岸の光景を図 16 に示す。A 点付近には海岸線付近から約 1km の幅で、白い津波堆積物が帯状に分布している。点 A 付近に小さな川の河口があり、海岸線から約 7km の内陸まで伸びるダム湖が見える。このダム湖の B 点付近をよく見ると、南側の湖岸線が白く見えており、ここに津波堆積物が局所的に集積していることを示している。この南側湖岸の白い堆積は、津波発生時に形成されたものか、それともこのダム湖形成後、いくばくかの時が経過するうちに形成されたものであるのかは判定しがたい。

C 点付近の海岸では、D 点付近まで白い津



図 15 Fortsleza 市とその周辺海岸

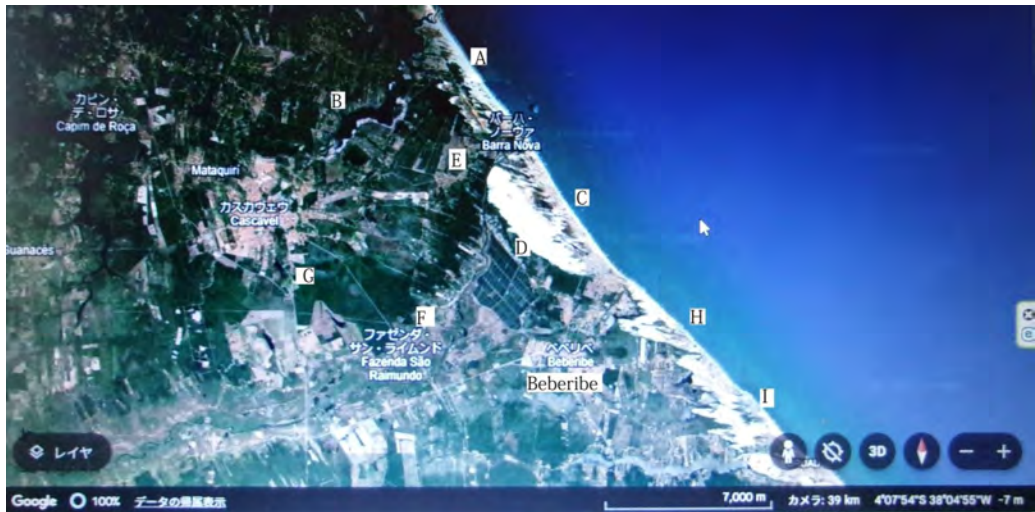


図 16 Beberibe 付近の海岸の光景(図の下辺のスケール全長は 7km)

波堆積物が幅約 4km にわたって打ち上げられている。C 点付近を河口とする川の upstream に、E 点、F 点、G 点に延びた全長約 12km ほどの屈曲したやや大きいダム湖が形成されている。

C-D 点の津波堆積地の南東約 7 - 20km の区間、すなわち H 点から I 点にかけての海岸では、津波堆積物の形状は、ここまでの海岸とは違って、内陸に向かって尖った三角形の形状をしている。ここでは、文字通り Chevron dune (長い三角形) の形状をしている。その先端の位置は海岸線から 3km くらいである。これらの Chevron dune の方向は、ほぼ真西、やや北を向いていて (北 80° 西) であろう。この Chevron dune の形状は、Madagascar 島のそれのように極端に細長い形状 (図 1 参照) とは似ていない。オーストラリア北岸 Carpentaria 湾の西岸北端付近の Groote 島南岸 Amungkwalya Beach に現れた津波痕跡により似ている (都司, 2023-c の写真 21)。

2.14 Campestre 村・Maceio 市

Beberibe から海岸線に沿って南東方向に約 70km 進むと、Maceio 市に達する。

Maceio 市の中心部の真西約 15km のところに Campestre 村がある。

図 17 の A 点に河口のある川は、大きく蛇行して B 点に達し、ここから上流はやや幅の広いダム湖になっている (D 点から E 点)。ところが、ダムとして堰き止めたはずの白い津波堆積物は B 点付近には見られない。これは、次のように推定される。すなわち、B 点と海岸線の間の C 点付近は、元は白い津波堆積物で覆われた砂丘状の地形であった。それが、ダム湖から豊富な水が得られるのを幸いとして、この付近の農民によって、ここを農業耕作地に変えてしまったのであろう。ダム湖 D の湖岸線が白く縁どられているのは、このダム湖に津波が運んできた CaCO_3 が湖岸線に打ち寄せられて線状に堆積したためであろう。津波の堆積物のあるところが、現在の衛星写真像の画面の上で、常に白く覆われた地形になっているとは限らないことに注意したい。

Maceio 市はシャグアリベ川の河口付近左岸側の平野に居住地域を置いている。この居住地域の衛星写真には現在、津波堆積物の痕跡はほとんど見えない。河口の右岸側には、海岸線からおおむね 5km の幅の白色の津波堆積物の砂丘地帯が見える (図 17 の F 点周辺)。この地帯の海岸方向の長さはおおよそ 12km である。

この海岸区域の南、図 17 の H 点付近に直

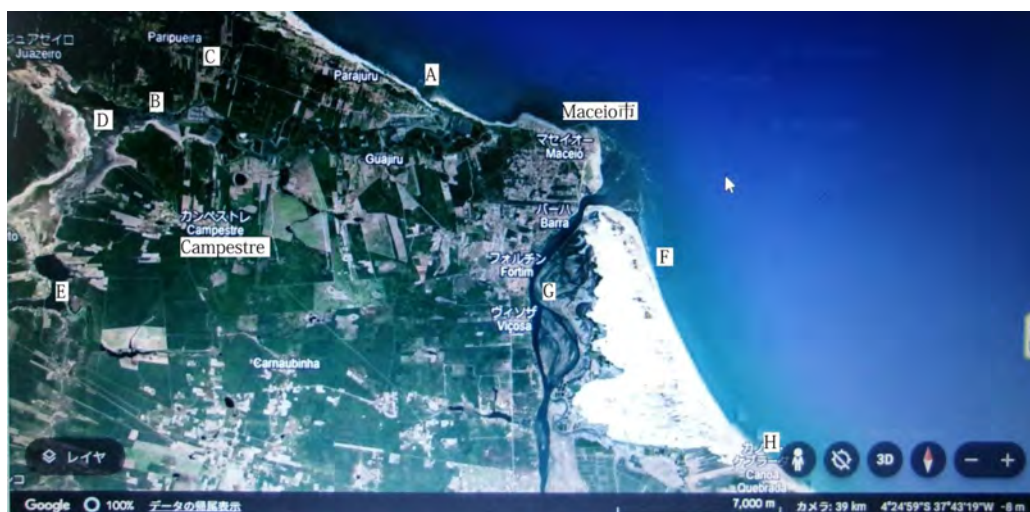


図 17 Camestre 村と Maceio 市付近の光景

線状の Chevron dune が見られる。

2.15 Redonda (レドンダ) 村と Caicara (カイサラ) 村

Maceio 市から海岸線に沿って南東方向に約 50km 進むと **Redonda 村** に到達する (図 18)。

この村のすぐ北側海岸 (A 点付近) には約 5 本からなる, Chevron dune が見える。その長さは 1km 程度, 幅は 100m 程度であろう。方向は (北 65° 西) である。

Redonda 村から海岸線に沿って南東方向に約 15km 進むと **Caicara (カイサラ) 村** に到達する。図 18 の B 点付近海岸線には白色の津波堆積物の細い線がみえるが, その背後 (C 点周辺) は湿地になっている。一種のダム湖が干上がったものと推定される。

図 18 を一見すると, 海岸線に沿った津波堆積域の幅は極めて狭いように見えるが, よく見ると海岸線から 4~5km 内陸の D 点, および E 点の付近まで, 表土が白っぽいことに気づく。この付近は農地として開墾さ

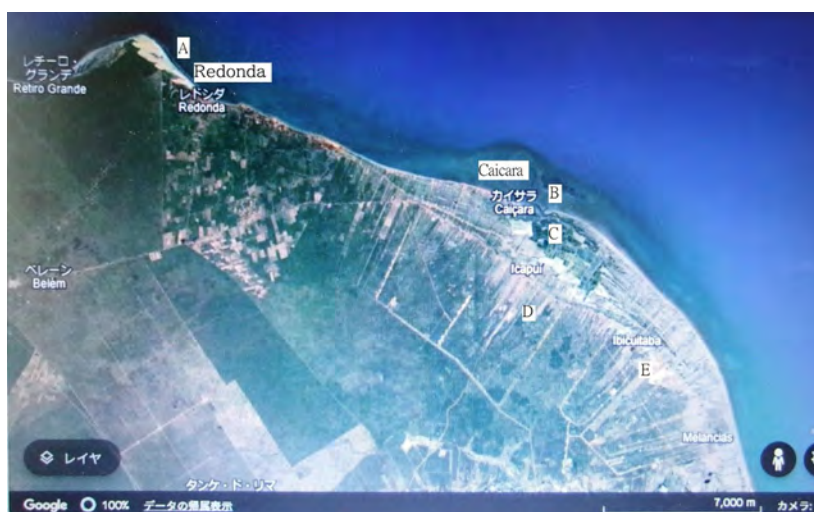


図 18 Redonda 村・Caicara 村付近の海岸の光景

れていて、従来の津波堆積痕跡は、これら D 点、および E 点の付近まで達していたものと推定される。「この付近の海岸には、津波堆積物は乏しかった」と誤判断しないようにしたい。

2.16 Ponta do Mel (ポンタ・ド・メウ) 村付近

Redonda 村から海岸線に沿って南東に約 40km ほど進むと **Ponta do Mel 村**に到達する。この村の約 10km 手前に **Cristovao** (クリストバン) の小岬がある。白色の津波堆積物の流れは、この小岬の根元を東海岸 (A 点) から西海岸に通り抜けている。

Ponta do Mel 村の南東方向の海岸 (B 点付近) には白い津波堆積物が幅広く大量に陸上に打ち上げられている。この幅広の堆積物の先端 (C 点付近) は海岸線から約 6km ほどの地点である。

ここで、この場所だけで観察される注意を要する事柄を記しておこう。D1 ~ D3 の 3 点をよく見ると、上述の幅広の津波堆積物に先行して、細長い三角形に打ちあがってきたことがわかる。ここには、Madagascar 島や Mozanbique, あるいはオーストラリアの海岸で、隕石落下による津波痕跡としてよく見慣れた、長い三角形の文字通り Chevron

dune の片鱗が現れている、と判断することができるのである。

2.17 Macau 村

Ponta do Mel 村から海岸線に沿って約 80km 東南東に進むと **Macau 村**に到着する (図 20)。**Macau 村**から約 12km 手前に **Mangue** (マンゲ) 港があり、東北東約 10km のところに **Diogo Lopes 村**がある。

Mange 港には防波堤が備えられているが、この港の東側に小さな川の河口があり、その右岸側 (A 点付近) の海岸は白い津波堆積物で覆われている。A 点付近の津波堆積物によって、このすぐ南側に湿地が形成されている。

B 点付近にも別の川の河口があり、このすぐ上流にも小さなダム湖が見られる。川は C 点付近と通り、その上流は F 点、E 点、G 点を経て、さらに上流に K のやや大型のダム湖がある。この付近の川筋の東側に D の広域にわたる白い津波堆積物の分布した台地状の地形がある。この地形が隕石落下直後の津波によって一気に生じたものか、津波後の (幾度かの) 洪水によって他の場所に堆積した津波堆積物がここに運ばれたものか、あるいは農業などによる人工の産物であるのかは判然としない。この白い堆積物の分布は、他の場所で見られた Chevron dune による堆積形状



図 19 Ponta do Mel (ポンタ・ド・メウ) 村付近海岸の光景 図のスケール全長 8km

とはかけ離れている。ただ、この D の台地上の津波堆積物が、隕石津波の来襲時に一気に形成されたものであるという見解を支持する事実は、ダム湖 K から G, E, F, C 点を経て B 点の河口に至る川筋と、これとは別に H 点から I 点を経て Macau 村付近に達し、その後 J 点の河口に流下する別の川筋があることである。自然河川が上流で二つの流れに分岐するというのは、まず自然発生の河川ではありえないことである。したがって、ここに見られる地形の大部分は隕石落下による堆積によって一気に形成されたものであるという見解の方が正当であろう。

津波によって運ばれてきたと見られる白い堆積物が図 19 の下辺付近の L 点、および M 点付近にも広範囲に分布している。これらの地点は海岸線から約 15km もはなれており、他のどの場所でもこのような津波堆積物の分布はみられない。

図 19 の右端付近の **Diogo Lopes** 村の海岸にも海岸線に沿って白い津波堆積物の筋が見え、そのすぐ陸側にダム湖 P が見える。この背後に Q の津波堆積物の台地が見える。この台地から、R1 ~ R5 の分枝が伸びているように見えるが、これらには軸の屈曲が見られることから Chevron dune の先端部分とは見ない方がよいであろう。

2.18 Galinhos 村付近の海岸

Macau 村の東方、約 50km のところに **Galinhos** 村がある。この村は川の河口の右岸側の海に突き出た細い砂州の上にある。この細長い砂州全体は、その東側に続く海岸平野の様子から類推して、やはり津波堆積物で覆われていたと考えられる。この砂州の背後に当たる図 21 の A 点付近は、津波が侵入したあとの湿地であると推定され、その証拠として平野内を流れる 2 本の川筋が上流側で分岐する場所が 2 点見受けられる。A 点の東側の D 点付近も同じような湿地が観察される。

Galinhos 村の西側の河口左岸には、B 点、C 点にそれぞれ別個のダム湖が存在する。ともに津波堆積物によって川の流れが遮断されて形成されたものであろう。

E 点と F 点は、A 点の湿地（もとダム湖）からさらに上流側に分岐した小河川であるが、これらの川の両岸にも、津波で運ばれてきたとみられる白色の堆積物が見られる。津波がこれらの両地点にまで達したことを示している。

図 21 の右半分（東側）に存在する G 点の小河川の川筋も白い津波堆積物で埋まっている。津波はこの小河川の白く見える場所の先端にまで達したものと判断される。ここで注意を要することは、**Madagascar** 島や

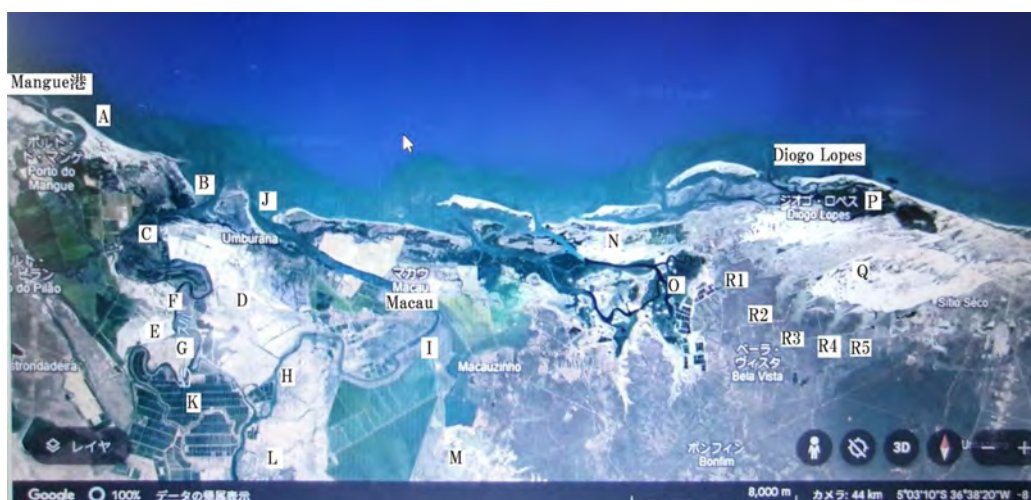


図 20 Macau 村付近の海岸の光景



図 21 Galinhos 村とその周辺海岸の光景

Australia の Carpentaria 湾, さらに, Brazil 北岸のこれまで述べてきた海岸では, 隕石津波による直線の堆積痕跡, すなわち, Chevron dune は, 先行する川筋を無視して直線的な形状をなすことが特徴であった。ところが, Galinhos 村周辺では, 津波の上陸痕跡は, 河川などの先行地形に「すなおに」従っている。このことは, この海岸での津波による海水の進行速度は, 「遅かった」ことを示していることになろう。

2.19 Touros 付近

Galinho 村から海岸線に沿って約 100km ほど東進すると, 海岸線は東南東方向から, 南南東方向に大きく転ずる。この点に **Touros** がある。

この海岸では, A 点, B 点, および C 点から北西方向 (北 50° 西) に津波が上陸したことを読み取ることができる。

A 点から侵入した津波は, ほぼ海岸線に平行して入射し, **Touros** を通過して, その北西側に続く海岸線で海に戻っている。A 点か

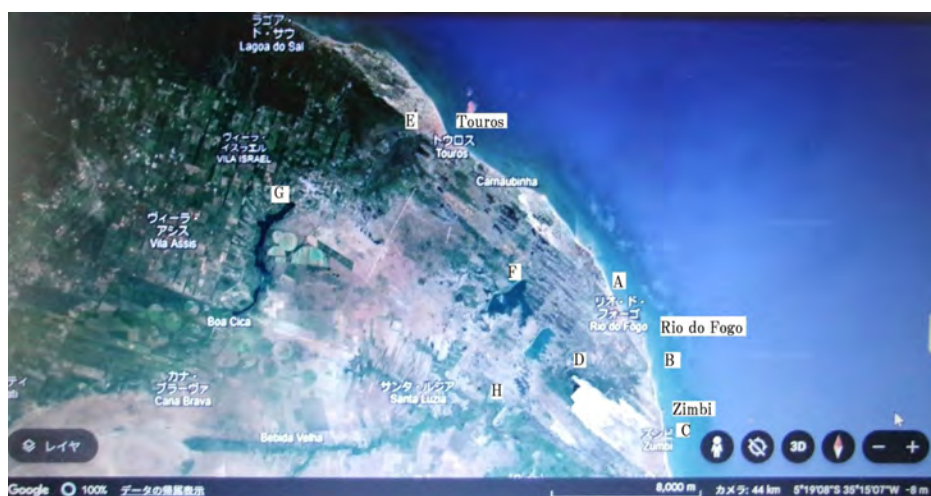


図 22 Touros とその周辺の海岸の光景 スケール全長は 8km

ら再び海へ戻るまでの距離は約 20km におよぶ。途中、E 点でダム湖を生じている。ということはここでは津波は、先行地形を無視して直線的に進行したことになる。

B 点付近から上陸した津波は、Touros のすぐ南まで達している。途中、F 点でダム湖を生じている。

C 点付近から上陸した津波は、6km ほど進行した D 点付近までの大量の白い堆積物を上陸させた後、さらに海岸から約 25km 進行して、G 点付近で進行した川を堰き止め、ここに別個のダム湖を生じている。

図の下方（南側）の H 点でも、東西の長さが 20km 以上におよぶ長大なダム湖を生じているのが見える。

この図 22 をみていると、津波の上陸侵入の勢いは、これまでの図のどの地点よりもこの図の Touros 付近が強大であったように想定される。隕石の落下点は、この津波進行の発射方向の延長上に求めるべきであろう。

2.20 Maxaranguape 村・Natal 市付近

Touros から海岸線に沿って約 40km 南南東に進行すると Maxaranguape (マハランガペ) 村に達する。ここから約 30 km 南に Natal (ナ

タル) 市がある (図 23)。

図 23 の A, B, C, D の各点に、細長い三角形形状の津波堆積物の分布が見える。この形状は、Madagascar 島に多数見られた Chevron dune とよく似ている。ことに、B 点の棒状の Chevron dune は、Madagascar 島の Ambazoa 海岸のそれらにそっくりである (図 1 参照)。B 点の棒状 Chevron dune の長さは約 4km で、幅は 200m ほどと見られる。この幅がこの津波を起こした落下隕石のサイズをあらわしているものと推定される。すなわち、この津波を起こした隕石の直径は最大限 200m ほどのサイズであると考えられる。A ~ D の 4 個の Chevron dune の方向はほぼ同一であり、その方向は、(北 50° 西) である。このことから考えて、隕石の落下地点は、これらの点の南東側延長方向であったと推定される。

D の Chevron dune の背後の E 点付近から内陸部の F 点に至るダム湖が生じているように見えるがはっきりしない。これに対して G 点には、この点を起点にしたはっきりとしたダム湖が観察される。

図の下方、Natal 市に近いところでは津波堆積物は、Chevron dune の形をとらず、平野部に広域に拡がっている。

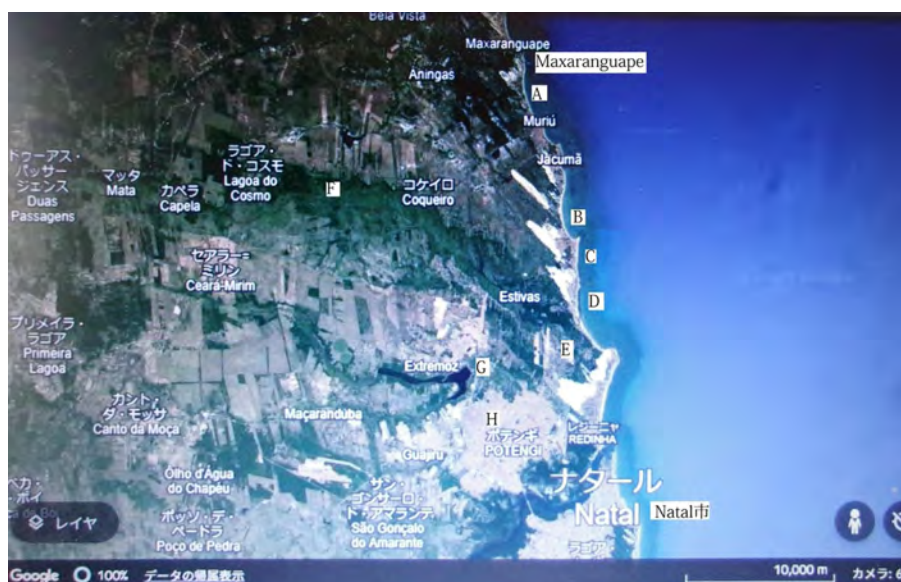


図 23 Maxaranguape (マハランガペ) 村付近の光景 スケール全長は 10km

2.21 Natal 市周辺

図 24 は Natal 市の南側の海岸であって、この図は図 23 と一部重複していて、その南側の海岸である。Natal 市北端の A 点に川の河口があり、この河口の直接の背後からダム湖 B が広がっている。Natal 市の市街地の南部の平野部は一面に白い津波堆積物が分布していることから、市街地全体が、津波堆積層の上に建設されたものと推定される。

C 点には、津波堆積物による堰堤が形成されその背後は潟湖になっている。この潟湖をはさんで陸側に津波堆積物で覆われた平野部 D が広がっている。この潟湖は川の流れを堰き止めることによって生じたダム湖というより、海岸砂丘背後にあってもともと低い土地に水がたまったものであろう。

C 点付近、および E 点付近に、ごく短い Chevron dune のような北西に尖った地形が見られるが、本来の Chevron dune 全体は、D、および F の津波堆積台地に接続する長さを持ったものであると理解すべきであろう。

内陸部の G 点、および H 点にも、ダム湖が見られる。ことに H 点のダム湖は明瞭である。H 点は海岸線から実に約 27km 離れた位置にある。津波はここまで内陸に向かって侵入して堆積物を置き去ったと判断される。

図 24 の下方（南方）の I 点付近に 2 個の Chevron dune が見られ、双方とも長さは約 3km で方向は、(北 40° 西) である。しかし、それらの延長部分の J 点付近にダム湖が見られることから、白色ではない津波堆積物は、海岸線から約 20km 離れた J 点付近にまで達していることが判明する。

2.22 Pipa 市付近の海岸

Natal 市の南約 60km のところに Pipa 市がある (図 25)

図 25 の上部(北方)の A 点、および B 点に、典型的な Chevron dune が見える。長さはともに約 3km 程度であって、方向は(北 45° 西)である。この先は丘陵地に入るため、この長さにとどまったものと理解される。

C 点に河口をもつ川の上流に D 点のダム湖が生じている。このダム湖は白い津波堆積物の線で縁どられているが、これは、A 点、および B 点の海岸から、丘陵地を乗り越えて背後の川の上流の低地に流入した津波によるものであろう。

この丘陵地の南側に広がる E 点の平野部には、多数の湖が見られるが、これらは農業耕作地の内部の池であって、元はダム湖ではあったらしいが、その淡水が農業用に活用さ



図 24 Natal 市とその南方海岸の光景 スケール全長は 10km

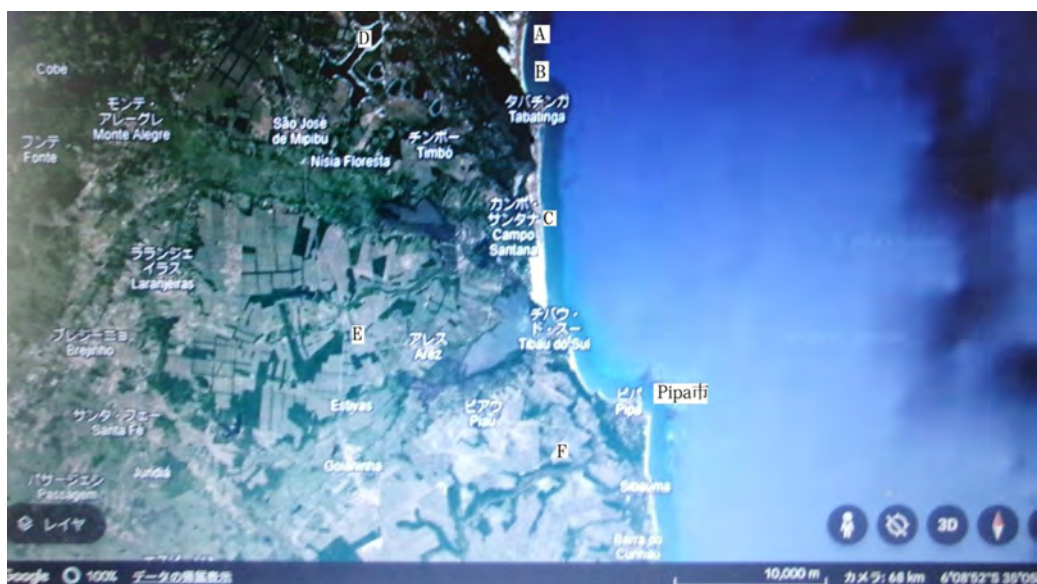


図 25 Pipari 市とその周辺の海岸の光景 スケールの全長は 10km

れたらしく、人工の池との判別は困難になっている。

図の下方の F は、津波によるダム湖と見られる。

2.23 Baia Formosa 市付近の海岸

Pipa 市の約 25km 南に **Baia Formosa** 市がある (図 26)。Formosa は台湾の意味であるから、台湾からの入植者に由来する町であろうか？

図 26 の A 点、B 点および C 点に、津波によって形成された小規模な白色の Chevron dune が見える。ただし、たとえば A 点の Chevron dune の北西方向の延長上の Baia Formosa 市の市街地のすぐ南にまで延びていることから、この付近まで津波が進入したことが推定される。

D 点には、現在も水面を保っているダム湖が見える。しかし、同じような濃色の E 点のあたりは、すでに陸化して湿地、あるいは植物の密生地となっているのであろう。同様に、E、F、G にも、かつてダム湖であった形跡が見られるが、いまは陸化していると推定される。そう考える根拠の一つは、図の下方 (南側) に Pituba 村の居住地があり、こ

れがもとダム湖の敷地の中にあるため、ここがすでに陸化した土地であると推定できるからである。

2.24 Camaratuba 村付近

Baia Formosa 市の約 30km 南に **Camaratuba** 村がある (図 27)。ここは、津波痕跡のある海岸区間の南の限界に近く、小規模な痕跡が見られるのみである。図 27 の A 点から B 点までの区間に、小規模な Chevron dune が見られる。また、その南の **Coquetrinho** (コケトリニョ) 村の南側にも、小規模な Chevron dune が見られる。これらの痕跡が見られる海岸のすぐ背後には湿地帯が平行に走っている。

また、**Camaratuba** 村に河口を持つ川に、やや大規模なダム湖の陸化したような痕跡が見られる。その他の内陸の各地に同様の痕跡とおぼしきパターンが見られるが、これらを隕石落下による津波に結びつけるのはやや強引に過ぎていて、控える方が妥当であろう。

2.25 Lucena 村付近

Camaratuba 村から約 50km ほど南下したところに **Lucena** 村がある (図 28)。この村の北側の海岸 (A 点付近) には、海岸線に沿っ



図 26 Baía Formosa 市とその付近の海岸線の光景



図 27 Camaratuba 村とその周辺の海岸線の光景

てひと筋白い線が見え、これが津波堆積物による線であると推定できるが、Chevron duneのような構造はほとんど見ることはできない。この白い線の背後には、濃色の湿地帯が分布しているのが見える。これがダム湖であるのかどうかは判定するのが難しい。

Lucena 村の南約 7km の所にやや大きい川の河口があり、その南側に連なる海岸線の砂丘の上に Centro 村、Cabedelo 村があり、この海岸は、海岸線から幅 2～3km にわたって白い津波堆積物が地面を覆っている (B 点)。ただし、ここも Chevron dune のような構造は見られない。

2.26 Joao Pessoa 付近

Lucena 村の南約 30 km もところに、Joao Pessoa (ホアオ・ペッソナ) 村がある (図 29)。図の A 点の海岸には海岸線から幅約 2km にわたって、津波による堆積物と見られる白い表面層が観察される。しかし、Chevron dune のようなパターンはここでは全く見られない。また、その背後の B 点付近の濃色の部分は、ダム湖ではなく湿地であろう。

この村は幅広の三角州のような地形の上の村である。そうして、この三角州のように見

える地形の上の D 点、E 点の表土は一面白色であって、津波による堆積物のように見えるが、やはり Chevron dune の構造は見られず判断は保留せざるを得ない。

3. Brazil 北海岸の隕石落下津波痕跡の特徴

前項で、Brazil 国北岸の合計 26 個の地点の衛星写真の詳細を述べてきた。これらの図は隕石落下による巨大津波の痕跡と考えられるのであった。同じような津波落下痕跡は Madagascar 島、Mozambique 国、および Australia 北岸にも見られたものであった。

Chevron dune の構造、先行河川の影響を受けないで直線的な堆積列の模様を陸上に描いていること、などこれらの海岸線に見られる特徴は Brazil 北岸の津波痕跡とも共通の特徴を指摘することができる。

しかし、本稿で述べた Brazil 北岸の津波痕跡には、これらの 3 個の海岸とは異なる点もいくつかある。本稿の結びとして、この点を述べておこう。

- (1) 離れた場所の Chevron dune の方向が、海洋中のある 1 点に焦点を結ば



図 28 Lucena 村付近の海岸の光景

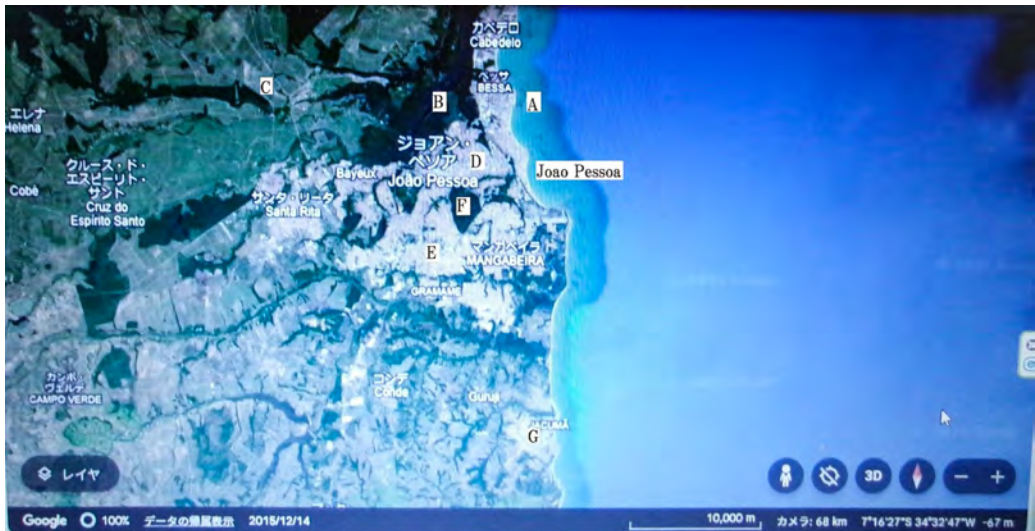


図 29 Joao Pessoa 村付近の海岸の光景 スケールの全長は 10km

ず、隕石落下点の推定ができないこと。Madagascar 島の場合には焦点を結び、隕石落下点を推定することができた(図 30)(都司, 2023-a, Gusiakov, 2011)。

- (2) 津波によって陸上に運ばれてきた堆積物によって、各地に新たにダム湖を生えている。Madagascar 島,

Australia 海岸では、このようなダム湖の出現は見られない。このことは、Brazil の津波では、陸上に侵入して来た津波の海水によって運ばれてきた固体物質の相対比率が大きかったことを示している。

- (3) 津波によって運ばれてきたと見られる、白色の堆積物が Chevron dune の

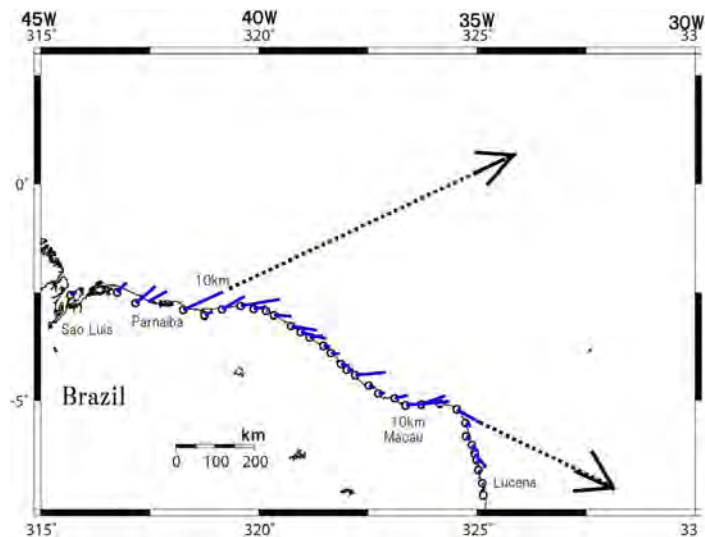


図 30 各点での Chevron dune の沖向き延長方向(青の線分)
異なる点どうしの Chevron dune の方向は海洋中の 1 点に焦点を結ばない

形をとらず、広域の陸上に広がったような分布をしている場合がある(図 26, 図 29 など)。このようなことは, Madagascar 島の津波痕跡には見られていない。

以上のような, Brazil 北岸にのみ現れた特徴が何に起因するのかについての考察については, 本稿では扱わず, 後日の研究に待ちたい。

4. 筆者後記

本稿の筆者は, 本年ですでに 78 才である。また, 東京大学地震研究所を退官してすでに 14 年を経過し, 研究費を調達できる職場を離れている。したがって, 筆者が Brazil 国を訪れて現地調査を行う機会には, もはや恵まれることはないであろう。どうか筆者より若い世代の研究者の誰かが, この研究をはじめ, 隕石落下による津波の研究全般を引き継いでくれることを強く望むものである。

本稿を執筆するうちに, ここで指摘したような, Chevron dune の出現や, ダム湖の出現は, 当然 Brazil 国でも気づかれているはずであると考える。しかるに, 国際津波学会などでも, Brazil 国からの報告はなされていない。本稿で取り上げたテーマは, Brazil 国の地理・地学研究者との連携の上で研究を継続すべきことは当然である。このような国際研究組織の構築もまた, 若い世代の人々に期待したい。

5. 謝辞

本稿の原資料としての衛星写真は Google Earth の画像を用いた。これらの画像が自由に引用することを許された同社に深く感謝申し上げたい。

参考文献

- Abbott, D.H., S.Martos, H. Elkinton, E.F. Bryant, V.K.Gusiakov, and D. Breger, 2006, Impact craters as sources of mega-tsunami generated Chevron dunes, GSA-2006, Philadelphia, Annual Meeting.
- Abbott, D.H., E.W. Tester, C.A. Mayers, and A.R. Chivas, 2007, Sediment transport mixing and erosion by an impact generated tsunami: Gulf of Carpentaria, Australia, AGU Fall meeting abstract, 1, p7
- Gusiakov V. K., D. H. Abbot, E. A. Bryant, and D. Breger, 2010, Mega Tsunami of the World oceans: Chevron dune formation Micro-ejecta, and rapid climate change as the evidence of recent oceanic Bolide Impacts, Geophysical Hazards, Springer, 197-227
- Masse W.E., R.P. Weaver, D.H. Abbott, V.K. Gusiakov, and E.A. Bryant, 2007, Missing in action? Evaluating the putative absence of impacts by large asteroids and comets during the Quaternary Period, Proc. Advanced Maui Optional and Space Surveillance Technologies Conference, Maui, Hawaii, E-79-I.
- 都司嘉宣, 2023-a, アフリカ・マダガスカル島海岸の巨大津波痕跡, 津波工学研究報告, 40, 49-71
- 都司嘉宣, 2023-b, アフリカ・Mozambique 共和国海岸の巨大津波痕跡, 津波工学研究, 40, 73-94
- 都司嘉宣, 2023-c, オーストラリア北部 Carpentaria 湾の隕石落下による巨大津波痕跡, 津波工学研究, 40, 95-123