

アフリカ南部、ヴィクトリアの滝下流のザンベジ川に見られる 谷底幅異常の分布とそれを規制した要因

横山俊治

深田地質研究所

Distribution and control factors of valley-floor width anomaly of Zambezi River
below Victoria Falls, Southern Africa

YOKOYAMA Shunji

Fukada Geological Institute

要旨：現在のザンベジ川は、互いに別々の歴史を歩んだ異なる河谷地形が発達する二つの河川、ザンベジ川の上流（ヴィクトリアの滝の上流）とザンベジ川の下流（Songwe Gorge からタンベラまでの河川）が繋がってつくられている。ザンベジ川の上流は、カラハリ砂漠を流れてきた外来河川で、谷底幅の広い浅谷を形成している。一方、ザンベジ川の下流は、カルー玄武岩の噴出後、おそらく地溝運動によって、カルー系の分布域の北縁に生じた構造谷に拘束され、直線谷に沿って谷底幅の狭い峡谷を形成している。カルー玄武岩は侵食に強い硬岩であるが、玄武岩を切る断層は弱線である。ザンベジ川の上流と下流の接合部では、上流からあふれ出た河川水による侵食やテクトニックな開口、谷壁の陥没や崩壊によって、断層線谷を形成している東西方向の断層が裂けて峡谷に発展した。やや遅れて、河川水は南北方向の断層沿いの岩石を侵食し、峡谷を形成した。最終的に、2 方向の峡谷が組み合わさってできたジグザグの河道がザンベジ川の上流と下流を繋いだ。ヴィクトリアの滝は、谷底幅異常の特徴をもつ、滝の下流からタンベラまでの区間の中で約 1000 km の長さに達する河道の最前線になった。

キーワード：ザンベジ川、ヴィクトリアの滝、谷底幅異常、構造谷、直線谷、断層線谷

Abstract: Today's Zambezi River merges two rivers of upper Zambezi (upstream of Victoria Falls) and lower Zambezi (stream from Songwe Gorge to Tambora town) that have mutually gone through separate history and develop different valley morphology as a result. The upper Zambezi is an exotic river flowing down in Kalahari Desert, which forms flat and wide shallow valley. On the other hand, the lower Zambezi is constrained by tectonic valley produced probably by rifting after eruption of Karroo basalt, along the northern margin of Karroo series, and forms narrow gorges along rectilinear valleys in the valley. Although Karroo basalt is a hard rock that resists erosion well, faults that cut the basalt are the lines of weakness. On the merging area between the upper and lower Zambezi, by erosion due to river water that run over from the upstream, tectonic opening, and sagging and collapsing of valley walls, east to west trending faults forming fault-line valley split open and developed gorges. A little later, the river water caused to erode the rocks along north to south trending faults and formed gorges. Finally, zigzagging channel constructed by combining the gorges of two trends brought the upper and lower Zambezi together. Victoria Falls became the front line of channel having the feature of valley floor width anomaly, and reaching about 1000-kilometer-length in the section from downstream of the falls to Tambora town.

Keywords: Zambezi River, Victoria Falls, valley floor width anomaly, tectonic valley, rectilinear valley, fault-line valley

1. はじめに

2018 年 10 月 11 日～13 日の 3 日間、ヴィクトリアの滝を訪れ、地形・地質を見学した。

一日目は、ジンバブエ共和国のヴィクトリアの滝国立公園内の散策路から、ヴィクトリアの滝を真正面から見学した。10 月はザンベジ川の低水位期にあたり、水量が少ないために、滝の壁面や滝壺の地形・地質を間近に観察することができた。二日目は、サンセットクルージングを楽しむ観光船で、滝の上流側の河谷地形を見学した。象の群れがザンベジ川を渡っているのを見た。川の兩岸の地形はなだらかで、小象は親に尻を押してもらって上陸できていた。滝に近づくと水深は浅くなり、樹木の繁茂した岩盤からなる島が現れ、その周辺では、水面に耳と鼻を出したカバが何頭もいた。三日目は、観光遊覧ヘリコプターに 15 分搭乗して、ヴィクトリアの滝周辺の河谷地形を

上空から見学した（写真 1）。

ヴィクトリアの滝は、北米大陸のナイアガラの滝、南米大陸のイグアスの滝とともに、世界三大瀑布のひとつに数えられている。ナイアガラの滝やイグアスの滝、そして日本の多くの滝と異なると、ヴィクトリアの滝は、滝の上流と下流で河道の方向が 90 度変化し、かつ下流の谷底幅が上流と比べて極端に狭くなっている。

一般に河谷の谷底幅は、下流に向かって徐々に広がるが、局所的に狭まって狭窄部（峡谷）になったり、広がって広開部になったりすることがある。鈴木（2000）は、このような谷底幅の局所的な増減現象を河系異常の一つと考え、谷底幅異常と命名した。ヴィクトリアの滝を境に谷底幅を著しく減じた下流の河谷地形は、谷底幅異常であることは明らかであるが、それは局所的な現象ではなく、ずっと先の下流まで続いているのが上空から確認できた。

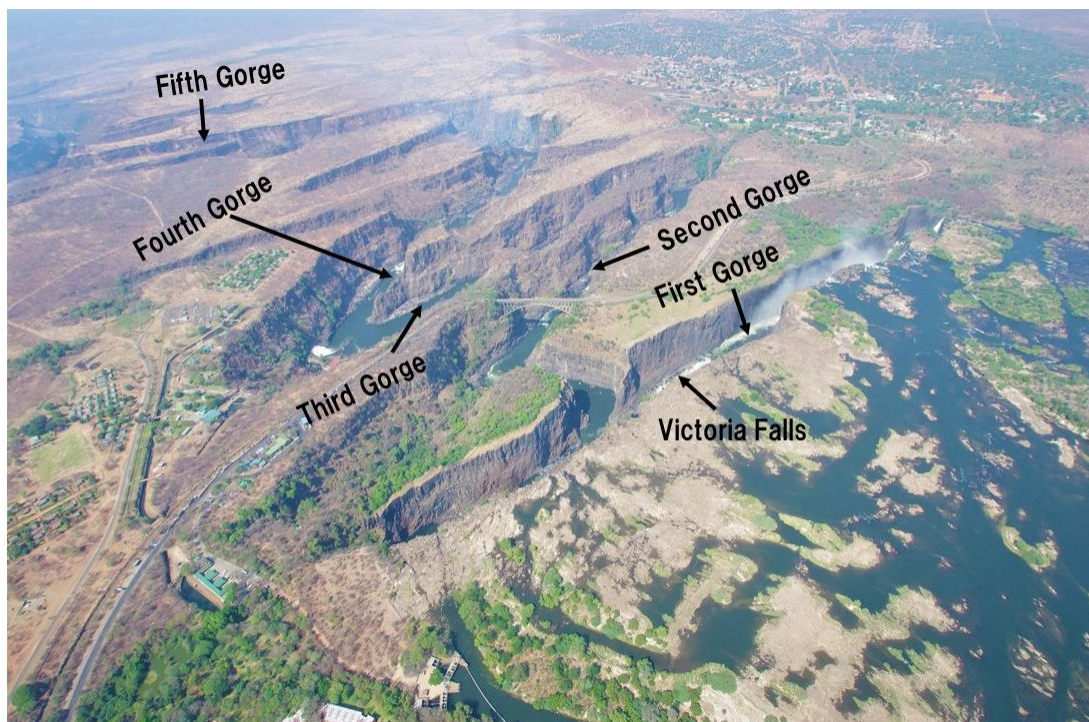


写真 1 ヴィクトリアの滝周辺の河谷地形の空撮（2018 年 10 月 13 日撮影）。

この論文では、ヴィクトリアの滝の下流からはじまる谷底幅異常はどこまで続くのか、谷底幅異常を規制している要因は何かを明らかにすることを目的とする。ヴィクトリアの滝近傍の河谷地形と地質の解析は、陸上での観察とヘリコプターから空撮した写真の判読で行った。広域の地形解析は Google Earth を用いた判読と地形計測によって行った。

2. ザンベジ川の河谷地形の概要

ザンベジ川は、コンゴ民主共和国との国境に近いザンビア共和国の北西端、ムウィニルンガの標高 1500m 地点に源を発し、アンゴラ共和国、ザンビア共和国とナイビア共和国の国境沿い、ザンビア共和国とジンバブエ共和国の国境沿いを流れて、モザンビーク共和国に入り、インド洋のモザンビーク海峡に注ぐ国際河川である（図 1）。ザンベジ川は、ナイル川、コンゴ川、ニジェール川に次いで、アフリカで 4 番目の長さをもつとされているが、その全長に関して諸説ある。計測方法だけでなく、計測に使用した地図の精度そのものに問題があると思われるが、最長と最短との差は 1000 km を越える。

この論文では、ジンバブエ共和国のヴィクトリアの滝国立公園内の解説板に記載されている全長 2736 km を採用した。ヴィクトリアの滝より下流の流路長は、Google Earth を使って流路に沿って計測した結果、計測誤差はあるが 1512 km となった。二つの値を用いると、ヴィクトリアの滝は源流地点から 1224 m 下流に位置することになる（図 1）。

ザンベジ川は、ヴィクトリアの滝を挟んで、上流側の河川と下流側の河川とでは、河谷地形が大きく異なっている。さらに、下流側の河川を詳

しく見ると、ヴィクトリアの滝の下流から Songwe Gorge の西端までの 10.3 km の区間、Songwe Gorge からタンベラまでの区間、タンベラから河口までの区間でも、河谷地形が異なっている。

ヴィクトリアの滝より上流側のザンベジ川は、砂漠の外に位置する標高 1500 m の山地に源流をもち、そこで発生した多量の降雨がカラハリ砂漠に流れ込んだ外来河川である（図 2）。カラハリ砂漠の中では、網状流路が発達する広大な湿地の中を蛇行しながら流れている。たとえば、ヴィクトリアの滝からわずか上流 177 km 地点の上流側にも、最大幅 39.8 km の湿地が広がり、ザンベジ川はその北縁を蛇行しながら流れている。そこから下流でも、ヴィクトリアの滝のすぐ近くまで、網状流路が発達する湿地が分布する低地がザンベジ川沿いに発達し、ザンベジ川は平坦で幅の広い浅谷（鈴木、2000）を形成している。

一方、ヴィクトリアの滝より下流側では、ヴィクトリアの滝付近からザンベジ川が東アフリカ地溝帯と交差する、河口から約 245 km 地点まで、カルー玄武岩や陸成堆積岩からなるカルー系（デボン系から下部ジュラ系）（諏訪・矢入、1979）の分布域（図 2）の中を流れている。ヴィクトリアの滝の直下から、ザンベジ川の河口から約 261 km 上流のタンベラまでの区間では、ザンベジ川は、長さ 1 km から 10 km 程度で、幅 100 m 以下から 700 m 程度（多くは 200 m から 500 m）の直線谷に沿って流れ、峡谷を形成している。その中で、Songwe Gorge からタンベラまでの区間は、数 10 km から 100 km の幅をもつ構造谷（図 3）に、ザンベジ川の河道が拘束されている。この地域のカルー系は北に大きく湾曲した帯状の分布をしているために、構造谷もその中を流れるザンベジ川の流路も北に湾曲している。



図 1 ザンベジ川の分布図 (National Geographic Society and Shupe (1995) に加筆)

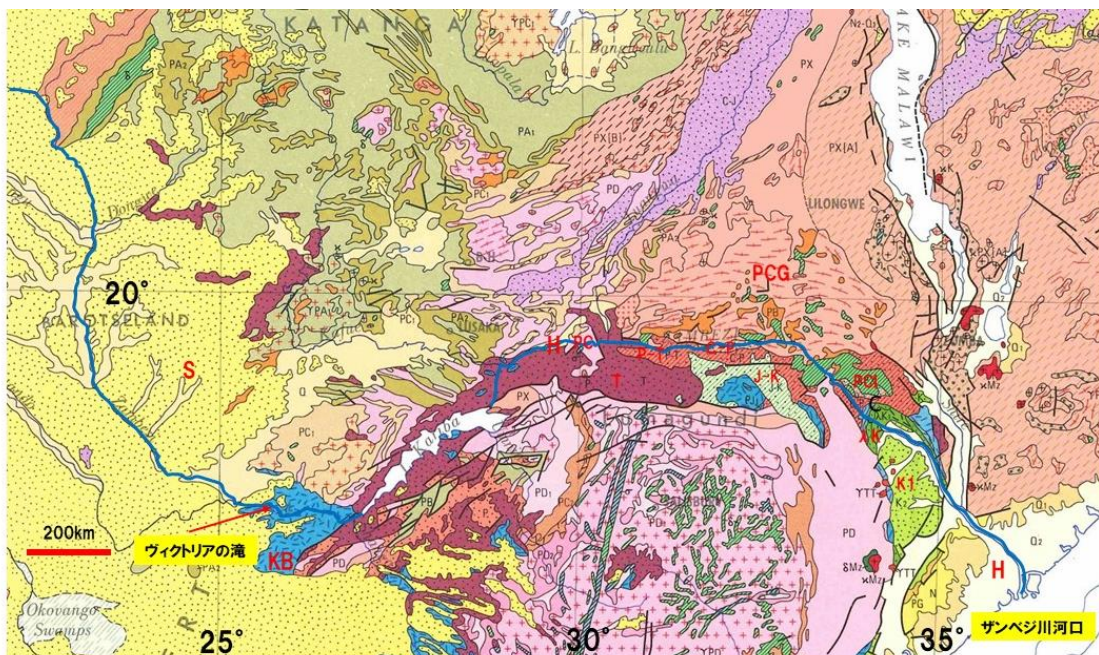


図 2 ザンベジ川周辺の地質図 (Choubert and Faure-Muret (1976) に加筆)

【凡例】 S : 砂 (カラハリ砂漠), H : 完新統, K : 白亜紀中性火山岩, K1 : 下部白亜系, J-K : ジュニア系-白亜系, カリー系 (KB : カリー玄武岩, T : 三畳系, P-T : 二畳系-三畳系, C-P : 石炭系-二畳系), PC : 先カンブリア系, PCG : 先カンブリア紀花崗岩, PCI : 先カンブリア紀中性貫入岩



図 3 ザンベジ川周辺の標高分布（Google Earth の画像を判読して作成）．青色の数字：ザンベジ川の水面標高（m）

構造谷の中には，ふたつの人造湖，カリバ湖とカオラ・バッサが造られている．堤体の高さ 128 m，堤頂長 579 m のアーチ式コンクリートダムでせき止められたカリバ湖は，長さ約 220 km，最大幅 40 km（Google Earth の計測値：38 km）になる．湖の平均水深 31 m と湖の幅から推察すると，構造谷の底は平らで幅広である．

構造谷内で，直線谷が途切れて網状流路が発達する河川がある．カリバ湖とカオラ・バッサの間で，全長 135 km，最大谷底幅約 4.9 km，カオラ・バッサの最上流部の湖底で，全長 25.4 km，最大谷底幅約 3.4 km，ザンベジ川の河口から約 369 km のテテから下流で，全長 60 km，谷底幅 1 km から 1.8 km の区間で，直線谷が途切れで網状流路の発達する河川になる．結果，ヴィクトリアの滝の直下からタンバラまでの区間で，直線谷からなる峡谷は約 1000 km に達する．

タンバラを過ぎたところで突然，谷底幅 400 m から 700 m の直線谷から，網状流路が発達する谷底幅約 6.9 km の浅谷に移り変わる．そして河口から約 143 km の地点から下流では三角州の中を流れてインド洋に達している．

3. ヴィクトリアの滝の概要

英国人デイヴィッド・リヴィングストンは，1852 年から 1856 年にかけてザンベジ川の上流から河口にかけて探検し，1855 年 11 月 16 日にヨーロッパ人として初めてこの滝を目にし，非常に感銘して，英国女王のヴィクトリアに因んで「ヴィクトリアの滝」と英名を付けた．現在，ジンバブエ共和国においては「ヴィクトリアフォールズ」，ザンビア共和国においてはモーシ・オワ・トゥーニャ（Mosi-oa-Tunya，「雷鳴のする水煙」という意味）が公式名称である．世界遺産登録名はこの二つを併記している．「雷鳴する水煙」という名称は，ザンベジ川の高水位期には，滝から落下したときに生じた水煙が 400 m から，ときには 800 m 以上立ち上っているのが数 km 先からも見えるという事実に由来している．

ヴィクトリアの滝のすぐ上流には，水量が多い時期にも水没しないふたつの島，西端の近くにある Boaruka Island と中央付近にある Livingstone Island がある．二つの島により滝の流れは 3 か所に分かれ，西から順に，Devil's Cataract（日本

名：デビル滝），中央付近の Main Falls，Rainbow Falls と呼ばれている。水量の少ない時期には，Rainbow Falls は消滅し，Main Falls の水量も極端に少なくなって，滝の上流側の河床には陸地が広がるが，デビル滝の水だけは涸れない。落差が大きいのは Rainbow Falls の高さ 108 m で，最も低いデビル滝でも高さ 70 m ある。

4. カルー玄武岩分布域を流れるザンベジ川の河谷地形

ヴィクトリアの滝付近からカリバ湖の上流端まで，ザンベジ川はカルー玄武岩からなる台地の上を流れている（図 2）。ヴィクトリアの滝より下流側では，直線谷に沿う流路がジグザグに方向を変えながら，全体としては南に流れ，そこでは主だった東西方向の流路に名前が付けられ，上流から，First Gorge・Second Gorge・Third Gorge・Fourth Gorge・Fifth Gorge・Songwe Gorge と呼ばれている。Songwe Gorge より下流では，個々の直線谷の方向はかなり変化してもジグザグになることはなく，ザンベジ川は全体として東に流れた後，北東に流れてカリバ湖に達している。そこから下流の地質はカルー系の陸成堆積岩に変わる。

この章では，はじめに河谷地形を規制するカルー玄武岩の断裂系について記述し，次に，ヴィクトリアの滝の上流側と下流側に分け，下流側はさらに，First Gorge から Songwe Gorge の西端までの 10.3 km 区間と Songwe Gorge より下流の区間に分けて，河谷地形と断裂系との関係，さらに崩壊について記述する。

4.1 カルー玄武岩に発達する断裂系

カルー玄武岩に発達する断裂系は，産状から成因を推定して，2 グループに分けた。

一つ目のグループは，互いに直交する高角度の断裂群である。First Gorge の南側の台地上の観察では，峡谷の谷壁に平行な東西方向の断裂群が数 10 cm 間隔で発達し，それらに直交する南北方向の断裂群がメートルオーダーの間隔で発達している（写真 2）。共に破断面は平滑である。First Gorge の北谷壁を見ると，このグループの断裂群は地表から 10 数 m の範囲に集中し，そこより深部では欠落しているか，著しく減少している（写真 3）。First Gorge の南谷壁でも同様の産状がヘリコプターから確認できる（写真 4）。産状から，このグループの断裂系は系統的節理群と考えられる。また，分布から，岩体の縁辺に生じた急冷節理の可能性もある。First Gorge と Second Gorge を繋ぐ南北方向の峡谷の東谷壁で，系統的節理群の発達領域よりも深部に向かって延びる開口割れ目が観察された（写真 5）。これらの開口割れ目は，断裂面の形状から断層の可能性がある。

二つ目のグループは全長が数 10 m から 10 km に達し，分布に偏りがある。遠くからの観察であるが，破断面は平滑でなく，複数の断裂面が集まっているようにも見える。このような産状から，このグループの断裂系は断層であると考えている。その中でも小規模な断層は，ヘリコプターから撮影した滝の上流側の離水した河床の岩盤の写真に記録されていた。岩盤に刻まれた直線状あるいはわずかに湾曲した溝を断層として検出した（写真 6）。溝の延長方向は東西方向と南北方向があり，両者入り交じって分布している。一方，大規模な断層は，台地に刻まれた直線谷を断層線谷と解釈し，Google Earth を判読して検出した（図 4）。断層線谷の延長方向は東西方向が卓越するが，それに斜交する北北西－南南東方向もある。断層線谷の分布は，カルー玄武岩全域を見ても偏りがある。

アフリカ南部，ヴィクトリアの滝下流のザンベジ川に見られる谷底幅異常の分布とそれを規制した要因

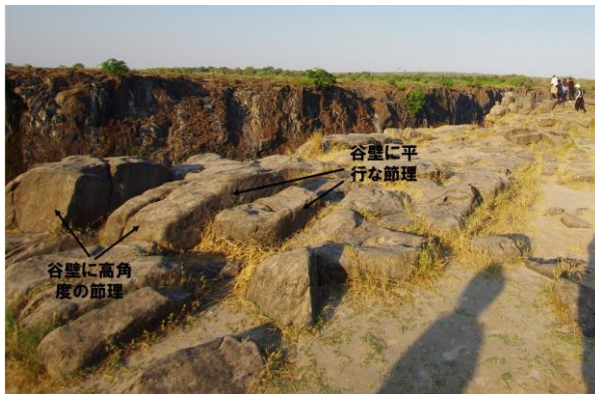


写真2 系統的節理群の露頭。



写真5 系統的節理群の発達領域より深部に延びる開口割れ目。



写真3 系統的節理群の垂直分布（First Gorgeの北谷壁）。峡谷の河床に陥没によると思われる地表の岩盤が分布。

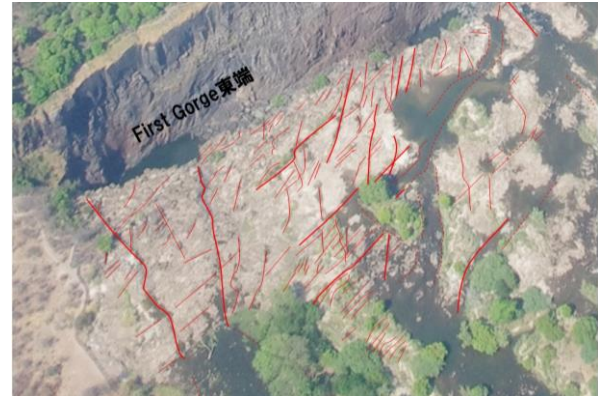


写真6 ヴィクトリアの滝の上流側の河床分布する断層群。



写真4 系統的節理群の垂直分布（First Gorgeの南谷壁）。

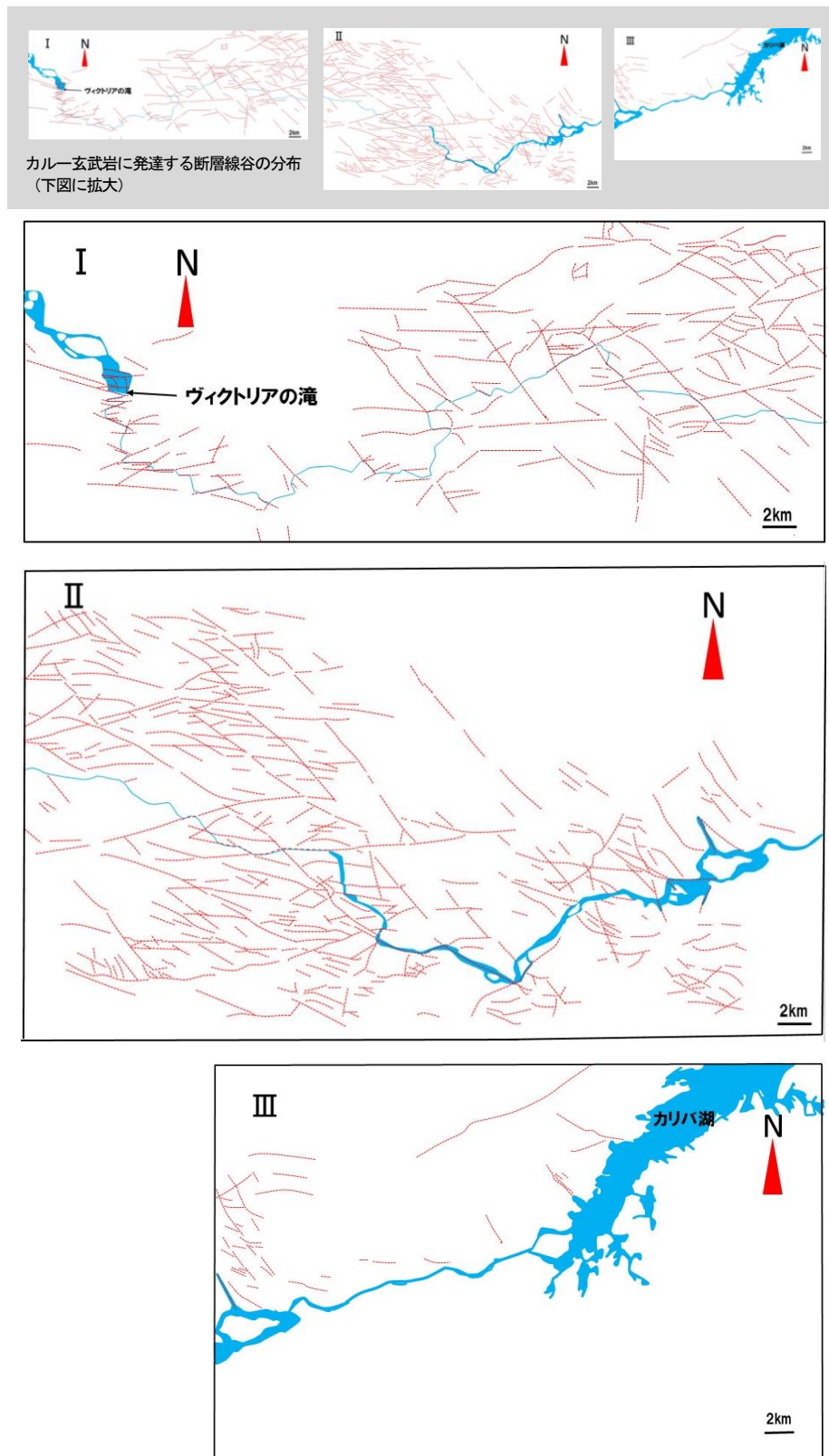


図4 カルー玄武岩に発達する断層線谷の分布 (Google Earth の画像を判読して作成) .
西から東に I, II, III. 赤色破線 : 断層線谷.

4.2 ヴィクトリアの滝より上流側の河谷地形 (図5の1)

ヴィクトリアの滝の上流側では，ザンベジ川は 1750 m から 2000 m の谷底幅をもつ浅谷を形成している．河床は滝に近づくときと浅くなり，低水位期には河床の岩盤が広く離水する．

ヘリコプターから撮影した写真 7, 8 には，幅 20 m から 50 m 程度の凹地状水路が写っている．凹地状水路の延長方向は，ザンベジ川の流下方向と調和的な南北方向のほかには東西方向が目立つ．連続性の良い東西方向の水路の延長線上には断層線谷が発達し，最長の断層線谷は全長 7710 m 以上になる．凹地状水路は，急傾斜の谷壁をもち，谷底幅が谷壁の高さに比べて広い平底谷（鈴木，2000）を形成している（写真 9）．谷壁の形状は，岩盤内の段差地形や，岩盤と水面の境界，水没した岩盤の水深の異なる境界に現れている．凹地状水路の谷壁を規制した断層が滝の谷壁面に現れている事例（写真 10）があることから，凹地状水路は断層溝状凹地であり，断層に規制された陥没凹地であると判断した．

4.3 ヴィクトリアの滝より下流側の河谷地形： First Gorge から Songwe Gorge 西端までの区間 (図5の1～3)

First Gorge は最上流に位置する峡谷で，デビル滝から流下した河川水が東に流れている．その北谷壁（左岸壁）は，ヴィクトリアの滝そのもので，Google Earth の計測では全長 1767 m になり，東端では峡谷の幅が次第に狭くなっている．そして First Gorge の両端から台地上に断層線谷が延び，その長さは東端で 919 m，西端で 10093 m となっている．それらすべてを足し併せると，First Gorge を規制した断層の長さは 12779 m になる．デビル滝の東では，上流側の離水岩盤に First

Gorge に向かって延びる断層があり，その断層は First Gorge の谷壁の手前で大きく開口している（写真 11）．この産状は，First Gorge と断層線谷との関係と似ている．さらにその断層よりも峡谷側の岩盤は陥没している（写真 11）．さらに東に進んだところにも，写真 3 で，First Gorge の峡谷の底で観察された系統的節理群の発達した岩盤は陥没によって現在の場所にもたらされた可能性がある．First Gorge の谷底幅は，Google Earth では画像が重なっていて計測できなかったが，撮影した写真から推定すると，60～100 m 程度と思われる．First Gorge に規模の大きな崩壊跡はないが，東端の峡谷の底には落石が堆積している．

First Gorge から二番目の峡谷（Second Gorge）へは，First Gorge の南谷壁の一部に生じた谷底幅 88 m から 90 m，長さ 227 m の南北方向の短い峡谷で繋がっている．西北西から東南東に流れる Second Gorge の流路長は 1350 m である．流路の東端からは水の流れていない深い谷（以下，このような谷を涸れ谷とよぶ）が 613 m 延びている（写真 12）．流路の西端からは，長さ 155 m の断層線谷と並んで，長さ 222 m の涸れ谷が延び，その涸れ谷の先にも長さ 152 m の断層線谷が延びている．Second Gorge を規制した断層は，断層線谷と涸れ谷を含めて，全長 2337 m になる．谷の北谷壁では規模の大きな崩壊が発生している．とくに東端の涸れ谷の北谷壁の崩壊面は緩傾斜で，First Gorge の南谷壁まで達している．

Third Gorge は全長 1227 m の西から東に流れる流路を形成している．流路の北谷壁には大きな崩壊が 3 カ所ある．そのうち 2 カ所の崩壊は崩壊面が緩傾斜である．東端の崩壊の端から Fourth Gorge の南谷壁まで，傾斜 22° から 33° の斜面が流路の東端を取り巻いている．Third Gorge の南谷壁と反時計回りの鋭角で交わる涸れ谷が峡

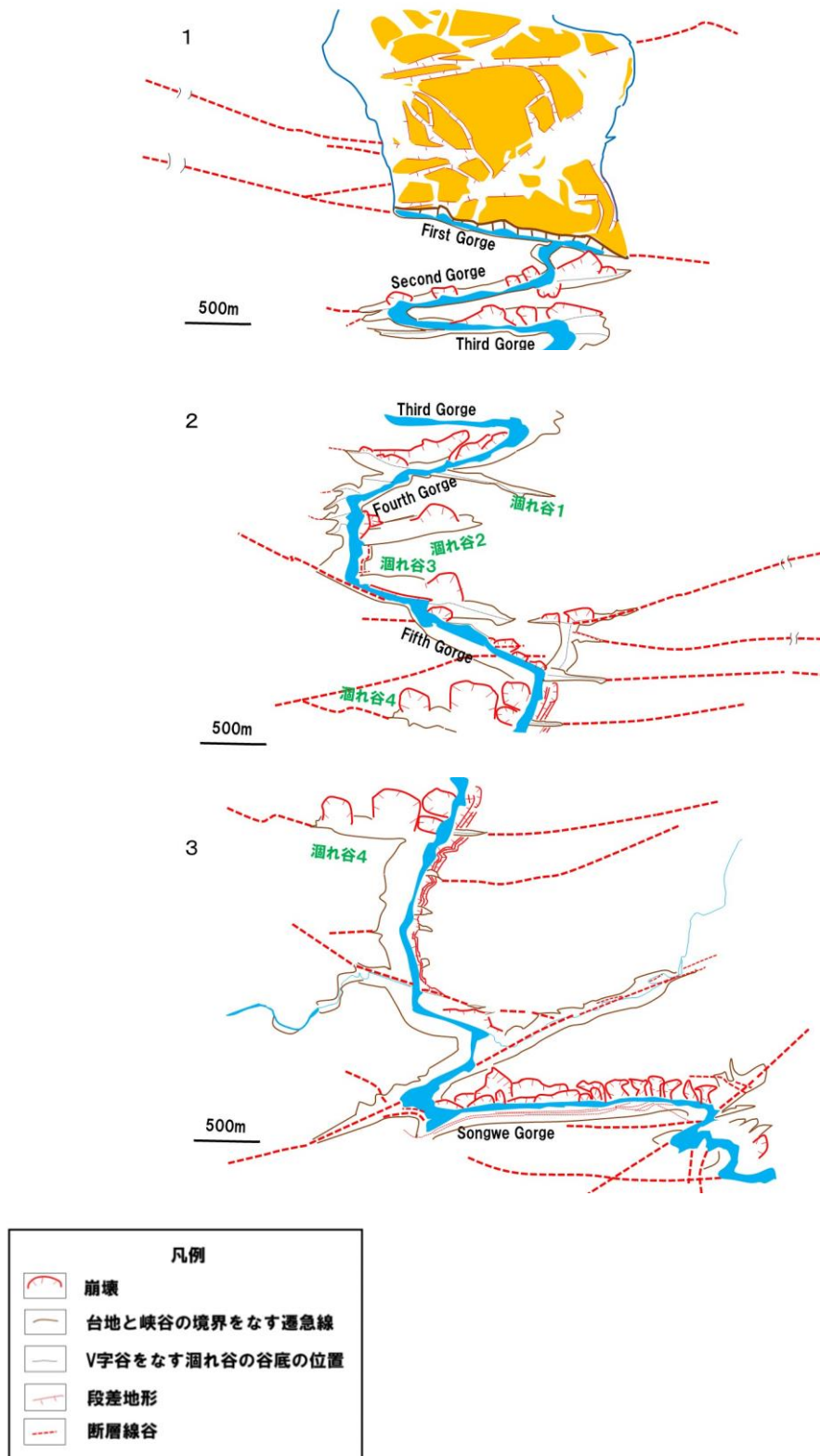


図5 ザンベジ川近傍の断層線谷から推定した断層・滝れ谷・崩壊の分布図（Google Earth の画像を基にヴィクトリアの滝の上流側とヴィクトリアの滝より下流 13.6 km の区間を判読）。

アフリカ南部，ヴィクトリアの滝下流のザンベジ川に見られる谷底幅異常の分布とそれを規制した要因

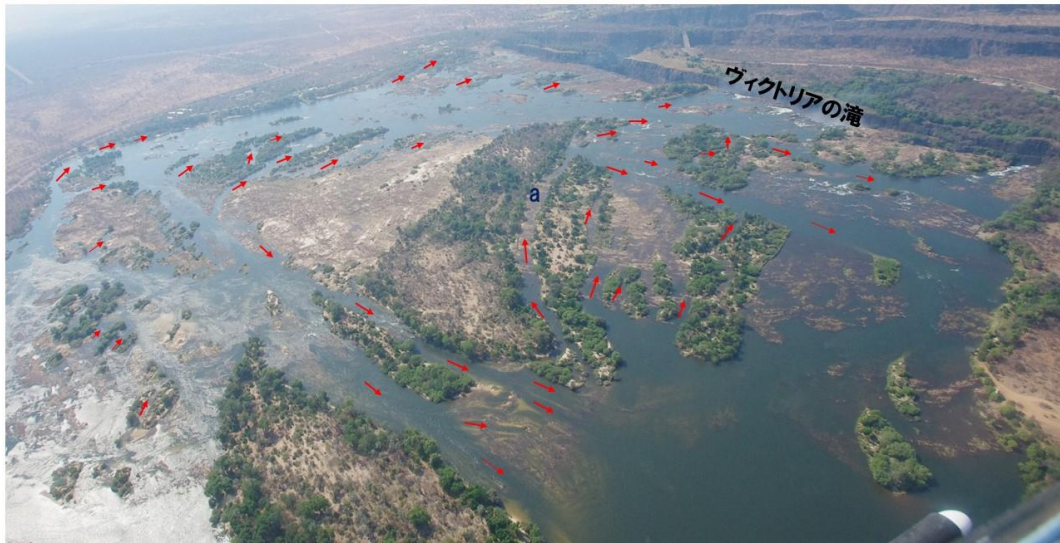


写真7 断層溝状凹地に沿う凹地状水路（ヴィクトリアの滝の上流側，北西から撮影）．
赤色矢印：流れの方向，a：写真7～9の同一地点．

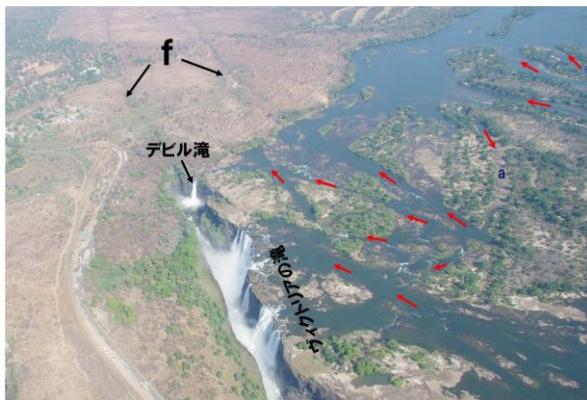


写真8 断層溝状凹地に沿う凹地状水路（ヴィクトリアの滝の上流側，デビル滝近傍を望む）．赤色矢印：流れの方向，f：断層線谷，a：写真7～9の同一地点．



写真9 確認できる断層溝状凹地の谷壁をつくる段差地形．樹木で隠れているところ，写真の写りが不鮮明なところは省いた．赤色破線：段差地形の位置，赤色実線：断層，a：写真7～9の同一地点．



写真10 断層溝状凹地とその両谷壁を規制している断層．



写真11 断層のくさび状の開口と陥没体。ヴィクトリアの滝の上流側から延びる断層が、First Gorgeの北谷壁に向かってくさび状に開口している。この断層の南側にある断層に沿って陥没が起きている。



写真12 Second Gorgeの東端の涸れ谷。涸れ谷の北谷壁ではFirst Gorgeの南谷壁に達する崩壊が発生している。

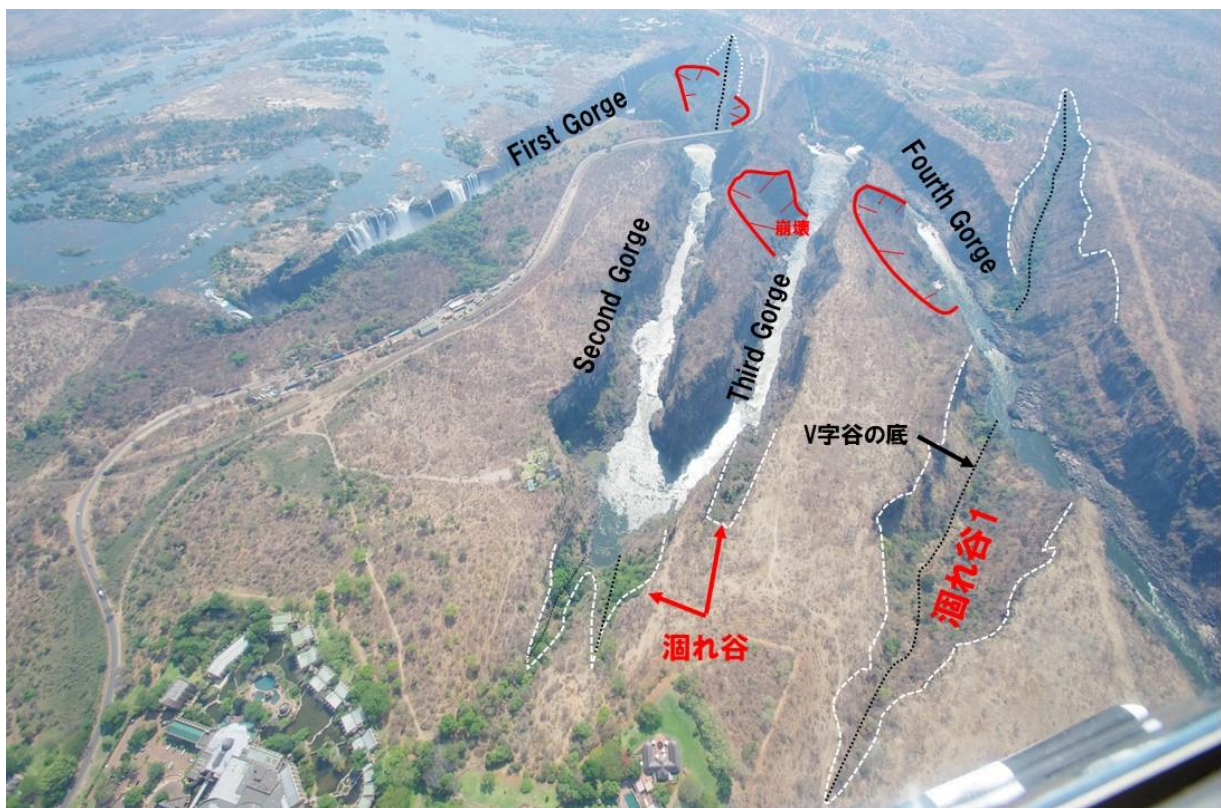


写真13 V字谷をなす涸れ谷1。涸れ谷1でFourth Gorgeの流路はずれている。

谷に向かって延びている（写真 13）。

Fourth Gorge は、東北東から西南西方向に流れる全長 1500 m の流路を形成している。流路の西端では涸れ谷が 233 m 延び、その先に断層線谷がわずかに延びる。Fourth Gorge の中程より下流側の地点では、西北西から東南東に延びる全長 2200 m の涸れ谷 1 が流路と交差し、流路は右横ずれセンスでずれている。涸れ谷 1 は V 字谷を形成している（写真 13）。

Fourth Gorge から Fifth Gorge へは全長 909 m の南に流れる流路で繋がっている。この流路に沿う断層の存在を示す証拠はない。複数の東西系の涸れ谷がザンベジ川の西谷壁にほぼ直交して台地の中に延びている。涸れ谷は、全長 370 m 以下の短い V 字谷を形成し、その先端は次第に狭くなり、断層線谷と区別がつかない。ほかに、ザンベジ川を横切って東北東から西南西に延びる全長が 1500 m の涸れ谷 2 がある。ザンベジ川の左岸側（東側）では、涸れ谷 2 は、北谷壁高さ 15 m、南谷壁 16 m、谷底幅 143 m の平底谷を形成している。北谷壁で発生した崩壊は浅いスプーンでえぐったような形態をもち、崩壊底面の傾斜は 14° と緩傾斜である。崩壊跡を離れると、流路は東端に向かって次第に狭くなっている。一方、ザンベジ川の右岸側（西側）では、Fifth Gorge の西端から西北西方向に延長する断層線谷によって、涸れ谷 2 の先端が途切れている。

Fifth Gorge は、西北西から東南東に流れる全長 1182 m の流路を形成しているが、途中、北から南に流れる短い流路によって右にずれているところがある。Fifth Gorge の西端からは、全長 1033 m の断層線谷が西南西方向に延びている。Fifth Gorge の西端からザンベジ川の北谷壁に沿い、さらに途中にある北から南に流れる短い流路の北端を通過して東方向に 1045 m 延びる涸れ谷 3 がある。

涸れ谷 3 の北谷壁では、崩壊底面の傾斜が 11° の崩壊が発生している。上記の南北方向の短い流路より下流側の流路では、西端からは全長 333 m、東端からは全長 1591 m の断層線谷が延びている。Fifth Gorge の北谷壁にも崩壊が発生している。

Fifth Gorge の東端から下流は、北から南に 865 m 流れている。この区間では、峡谷と平行に延びる複数の小崖が東谷壁に発達している。西側では、全長 909 m の涸れ谷 4 が流路に向かって延びている。涸れ谷 4 は、北谷壁高さ 17 m、南谷壁 30 m、谷底幅 178 m の平底谷を形成している。この涸れ谷の北谷壁には浅いスプーンでえぐったような形態をもつ規模の大きな崩壊が 2 カ所で発生している。崩壊底面の傾斜は西から 8.8° 、 3.6° である。この涸れ谷の西端からは全長 750 m の断層線谷が伸びている。この涸れ谷でも北谷壁で規模の大きな崩壊が発生している。

Songwe Gorge に近づいたところには、西北西から東南東に延びる全長 636 m の流路と、一端南に流れてから、東北東から西南西に流れる全長 636 m の流路があって、ややジグザグしている。後者の流路は、全長 3181 m の V 字谷の中に含まれ、この V 字谷によって流路が曲げられているように見える。V 字谷の西端から全長 681 m の断層線谷が延びている。

4.4 Songwe Gorge からカリバ湖の上流端までの区間の河谷地形（図 5 の 3）

Songwe Gorge は、西から東に流れる全長 2273 m の流路を形成している。流路の両端から断層線谷が延びている。図 5 の 3 の範囲より下流では、断層線谷との関係が不明確になる流路が多くなるが、所々で、北北西から南東方向の流路と断層線谷との関係が明白なものがある（図 4）。

崩壊は、Songwe Gorge の北谷壁で多発してい

る（図 5 の 3）が、下流では、規模の大きな崩壊は見られなくなる。

5 考察

5.1 構造谷および直線谷の成因について

Songwe Gorge からタンバラまでの区間では、ザンベジ川の流路は、カルー系の分布地域の北縁に発達する構造谷に拘束されている。構造谷は長さ約 1000 km、幅数 10 km から 100 km に達し、地形的には地溝であることを示唆している。

Guillocheau ほか（2018）は、カルー系を構成する古生層の中に多くの陥没構造をつくる断層が存在することを明らかにし、陥没構造を古生代の地溝と考え、カルー地溝と命名した。一方、ザンベジ川の流路を拘束した構造谷は、1 億 8000 万年前に噴出したカルー玄武岩の分布域にも及んでおり、カルー地溝と構造谷の形成時期は離れている。しかし、洪水玄武岩として大量のマグマを噴出したカルー玄武岩の噴出を契機にゴンドワナ大陸からアフリカ大陸の分裂が始まったとする考え（諏訪, 1997）は有力な説である。カルー地溝で形成された変動地形としての地溝は明らかにされていないので、構造谷との関係は不明であるが、カルー地溝の一部が地溝運動を再開したか、継続していて、それによって形成された変動地形が構造谷である可能性がある。

この構造谷の中に直線谷が形成されている点に注目したい。ヴィクトリアの滝に近づくと、断層に規制されていることが明らかな直線谷が増えてくるが、カルー玄武岩の中でも下流になると、断層に規制されたことが分かる直線谷が少なくなり、陸成堆積岩の分布域に入ると、断層との関係は不明になる。鈴木（2000）が考えているように、直線谷が断層破碎帯や軟岩など弱抵抗性の地形物

質に沿って発達するのであれば、ザンベジ川の場合は、地溝運動に関係して生じた断層破碎帯に規制されて直線谷が形成された可能性があると考えているが、現在のところ証拠がない。

5.2 ヴィクトリアの滝の成因について

ヴィクトリアの滝の成因に関して、これまで一般に広まっている説は、①節理が弱線となって滝が形成されたこと、②滝の下流でジグザグに流れる Second Gorge から Songwe Gorge の東西方向の峡谷はかつてザンベジ川に架かっていた滝の化石であること、の 2 点である。

ヴィクトリアの滝から下流の Songwe Gorge の西端までに形成されている主な谷は、東西方向の峡谷（First Gorge～Fifth Gorge）、南北方向の峡谷、東西方向の涸れ谷（涸れ谷 1～4）である。

諏訪（1997）は、節理が群がっているところがあって、そんなところは岩石がもろくなってきて、水にえぐられやすく、そこが東西方向の峡谷になったと考えている。しかし、東西方向の峡谷の延長線上に断層線谷が分布していることから、断層線谷を形成している断層（断層破碎帯）の一部がえぐられて峡谷に発展したと考える方が説明しやすい。First Gorge の谷壁での観察によれば、カルー玄武岩には系統的節理群は地表付近に集中し、深部に達する弱面にはなりにくい。それに対して、断層線谷を形成している断層は破碎幅が広く、侵食を受けやすいと思われる。

谷の形態に注視すると、東西方向の峡谷は両端が閉じ中央部が開口した引張り割れ目を示唆する形態をもっている。加えて First Gorge の内部では陥没を示唆する現象が起きている。V 字谷をなす涸れ谷 1 と 3 は、東西方向の峡谷と同様の引張り割れ目を示唆する形態をもち、平底谷をなす涸れ谷 2 と 4 は、断層溝状凹地の形態をもってい

る。東西方向の谷の拡張には、河川水による侵食だけでなく、断層面のテクトニックな開口や、谷壁の陥没や崩壊が一役を担っているように見える。現在、崩壊は東西方向の峡谷および涸れ谷の北谷壁に集中している。その中でも、規模の大きな崩壊は崩壊底面が緩やかである。このことは、ある程度谷が形成された後も、河川水が谷を越えて流れて来るような状況にあり、崩壊頭部にあたる付近から、おそらく系統的節理群に沿って河川水が浸透したことで、崩壊が発生したと考えられる。

諏訪（1997）は、Second Gorge から First Gorge にかけての峡谷を例に、次のようなヴィクトリアの滝の形成モデルを提案している。Second Gorge の北壁を巨大な滝が流下していた時代（2000～3000 年前）、ザンベジ川は、滝の上流では Second Gorge とほぼ同じ幅で流れていた。その後南北性の深い節理に沿って深い刻みができはじめ、南北性の深い刻みが北に向かって成長して、東西性の大きな節理に達した。その段階になって、水は東西性の大きな節理に沿って深い刻みを刻むようになり、ついにはヴィクトリアの滝が形成されたとしている。

しかし、断層線谷をつくるような侵食されやすい断層が複数水面下にあると、谷の侵食は必ずしも下流側の断層からとならず、同時に複数の断層での侵食が進行する。さらにテクトニックな開口も伴ったとすれば、東西方向の断層が複数同時に開口したとしても不思議ではない。その状況は、現在、ヴィクトリアの滝の上流側の河床に発達する断層溝状凹地群が水面下で形成されている状況と同じである。

3 タイプの谷の形成順序を特定するのは難しいが、Fourth Gorge の流路は涸れ谷 1 にずらされているので、前者が先である。涸れ谷 1～4 は南北方向の峡谷に切断されているので、前者が先であ

る。南北方向の谷に沿う規模の大きな断層は確認されていないので、中小規模の断層しか存在しないのであれば、下流から侵食するよりも、上流に位置する東西方向の谷の侵食がある適度進んだ段階で、そこに集まった水が上流から中小規模の断層が集まっているところに流れ込んだ方が、侵食は容易であろう。このように考えると、南北方向の谷より東西方向の谷の方が先になる。

ザンベジ川の上流と下流の二つの河川が繋がるきっかけになった要因は何であったか。多くの砂漠で起きている外来河川の現象から想像すると、乾燥による蒸発と地中への浸透によって、ヴィクトリアの滝の上流の低地のどこかで消滅していた外来河川が、気候変化によって多量の河川水を流すようになったことであろう。

6. まとめ

- ① それぞれ別々の履歴をもち、その結果異なる河谷地形をもつに至ったザンベジの上流（ヴィクトリアの滝より上流の河川）とザンベジ川の下流（Songwe Gorge からタンベラまでの河川）が繋がって現在のザンベジ川になった。
- ② ザンベジ川の上流の河川は、砂漠を流れてきた外来河川で、広大な分布をもつ湿地の中を蛇行しながら流れ、平らで幅の広い浅谷を形成している。
- ③ 一方、ザンベジ下流の河川は、構造谷に河流を拘束され、その中で狭い直線谷の中を流れる峡谷である。構造谷および直線谷は、カリ一系の分布地域の北縁に沿って起こった地溝運動によって形成された可能性がある。
- ④ カルー玄武岩には、断層線谷を形成し、東西方向の延びが卓越する規模の大きな断層群が

発達している。このほかに、東西および南北方向に延びる中小の断層群と、互いに直交する系統的節理群が発達している。系統的節理系の分布は地表付近の 10 数 m の範囲に限られる。カルー玄武岩は侵食に強い硬岩であるが、これら断層系は弱線になる。

- ⑤ ヴィクトリアの滝のすぐ上流では、広い浅谷の河床に、ザンベジ川の流下方向と調和的な南北方向と、それに直交する東西方向と凹地状水路が形成されている。これらの凹地状水路は、断層に規制された急崖が両側に発達する断層溝状凹地である。東西方向の断層溝状凹地はその延長で断層線谷と繋がっているものがある。
- ⑥ 上流と下流の河川が接合したのは、現在、ザンベジ川が北から南に流れているヴィクトリアの滝の下流 10.3 km の区間である。ここでは、3 タイプの主な谷が確認されている。一つ目は、上流の外来河川からあふれ出た河川水による侵食やテクトニックな開口、谷壁の陥没や崩壊によって、断層線谷を形成している東西方向の断層が裂けて峡谷に発展した谷 (First Gorge~Fifth Gorge)。二つ目は、現在水の流れていない東西方向の涸れ谷 (涸れ谷 1~4) である。涸れ谷 1 と 3 は、一つ目の峡谷と類似した形態をもち、断層が裂けて V 字谷になったものである。涸れ谷 2 と 4 は平底谷をなす断層溝状凹地である。三つ目は、河川水が南北方向の中・小断層に沿いの岩石を侵食し、峡谷に発展した谷である。現在の流路が完成するまでに谷の形成時期に重なりがあったと思われるが、大局的には東西方向の峡谷、涸れ谷、南北方向の峡谷の順に生じ、最終的には、東西、南北の峡谷が組み合わさってできたジグザグの流路がザンベジ川の上

流と下流を繋いだ。

- ⑦ ヴィクトリアの滝は、谷底幅異常の特徴をもつ、滝の下流からタンバラまでの区間の中で約 1000 km の長さに達する流路の最前線になった。

文献

- Choubert, G., Faure-Muret, A. (1976): Sheet7. *Geological World Atlas*, Commission for the Geological Map of the World - UNESCO, Scale 1:10,000,000, 22 sheets with explanations.
- Guillocheau, F., Robin, C., and Roux, Liget-Le, A. (2018): La diversite de L' architecture des bassins de rift. *Geochronique*, no.145, pp.52-56.
- National Geographic Society and Shupe J. F. (1995): *Physical Map of Africa. National Geographic Atlas of the World*, sixth edition, National Geographic Society, Scale 1:16,500,000, pp.89-90.
- 諏訪兼位 (1997): 裂ける大地 アフリカ大地溝帯の謎, 講談社選書メチエ 107, 講談社, 256p.
- 諏訪兼位・矢入憲二 (1979): 第 2 章 アフリカ, 都城秋穂編「世界の地質」, 岩波講座 地球科学 16, 岩波書店, pp.61-98.
- 鈴木隆介 (2000): 第 13 章 河谷地形, 建設技術者のための地形図読図入門 第 3 巻 段丘・丘陵・山地, pp.685-750.