

IAEG Bulletin 紹介(4)

地質構造変形を推定するための河川流域解析に関する研究紹介

国際委員会顧問

茶石貴夫

1.はじめに

複雑なプレート沈み込み帯に位置する日本列島にはプレート境界の巨大断層とともに多数の内陸活断層が分布している。活断層の知識はまだなかったが、近代になって人々を驚かせた地震断層が 1891 年の濃尾地震であり、これを契機に地質学を学ぶことをめざした先人達がいたことが知られている¹⁾。最近、1930 年に起きた丹那断層跡を訪ねる機会があり、出勤時に 40 歳代の土木社員に聞いてみたが地名すら知らない人が多数であったのは驚きであった。ましてや、新幹線のルート選定にこの断層の存在が議論を呼んだことなどまったく知られていない。1995 年に起きた阪神淡路大震災でさえ、新入社員や学生に聞いてもほとんどが知らないという。9 月 1 日が防災の日になっている理由を尋ねても同様である。一昨年に熊本地震が起きたばかりであるが、地域の地形と地質の成り立ちや災害リスクなど、教育の場等を通じて身近に学ぶ機会を増やす努力が必要と感ぜられる。

さて、前置きはこのくらいにして IAEG ブリテンから活断層関連の研究論文を探してみたが、トルコ等から若干の報告があるものの応用地質学の研究テーマとしては少数であった。そのような中で、オーストラリアの研究者からの河川の地形に着目した報告が目についた。複雑な地形地質からなる日本においてはあまり参考にならないかも知れないが、河川の基本的なことも学べる内容と思われることから紹介する。

2.紹介論文の概要

紹介する論文は、Bulletin の第 74 巻 493~506 ページに掲載された「Application of drainage analysis to infer “hidden” regional or local tectonic deformation」で、執筆者はパースにあるオーストラリア西部大学に所属する Beatriz Estrada である。

Introduction

地震や地殻変動によって様々な地形上の変化が起き、これらは地震災害の評価や地形形成の研究など応用地質学に欠くことができないが、目立つ変化がとらえられないこともある。ここでは、明瞭な地形的特徴が見られない地域において流域特性を使った例を 2 題あげる。最初は、安定地域である西オーストラリアの南西部の構造的隆起の例、二番目はニュージーランドにおいて地表地震断層が現れていない例である。

Drainage as an indicator of deformation

河川の流れは地形の変動に非常に敏感であり、その変化は地殻変動の推察に有効なことが広く知られている²⁾。活構造研究においては、地殻変動を推察するために水系の解析が広く使われている³⁾⁴⁾⁵⁾。

河川の流下断面の勾配や下刻量の増加は地殻変動に比較的敏感なことが報告されている⁶⁾⁷⁾。また、地殻変動に関係する河川の特徴を見出すには、地質分布、地質構造、基準面(海水面?)の変化によるものと区別する必要がある⁸⁾⁹⁾。

平衡状態にあるか、隆起量や基準面の変動レベルを超えて下刻された河川は下側に凸な流下断面をなす。この理想形に比べて異なる勾配や急変などがある場合は、地殻変動や基準面の低下、地質分布の違いなど様々な要因による不均衡な状態を示している。

平衡状態にある河川は、図-1 に示す指数関数のような下に凸な滑らかな断面形状をなす。GI/K値が1に近い河川形状は平衡状態の理想形に近く、断面の異常は、 $GI/K < 0.3$ と非常に小さいか、 $GI/K > 2$ と大きくなる場合である。

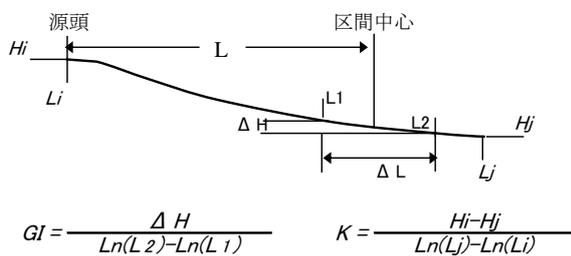


図-1 平衡状態にある河川の断面形状の例とパラメーターGI, K

地質の変化や地殻変動による不規則な流れは、図に示すGI(区間勾配)とK(全勾配)で計測できる。これに似て、平衡状態の河川では河道勾配(S)と流域面積(A)において次のSA関係が知られている。 $S = KsA^{-\theta}$, Ksは急さを表す指数, θ は窪みを表す指数

平衡状態にある河川では、下流まで一定の値を示すことが知られており、 θ は通常は0.3~0.6であるが1.1まで大きくなることもある。これらの指数は、その変動から構造変形の影響などを見出すことに有効である。また、SAに似て距離を用いたDS関係も解析に有効なことが知られている。

Reginal uplift deformation in Western Australia

西部オーストラリアの南岸域は標高400m以下で安定大陸域に区分される。この地域は白亜紀の終わりに南極から分離し、現在はインドオーストラリアプレート上にあるがプレート境界からは離れている。地質は30億年~26億年前に形成

されたYilgarn Cratonの花崗岩質片麻岩、13億年~11億年前の大陸衝突で出来た変成岩等からなっている。安定地域ではあるが、新生代以降に隆起し、オーストラリア全体で図-2に示すようなモデルが提唱されている。それによると、最近の15百万年間で240m~300m隆起したと言われているが、地形の起伏も乏しいため、このことについて河川の解析から調べた。図-3に河川の分布概要を示す。なお、この地域の雨量は年間600mm以上である。

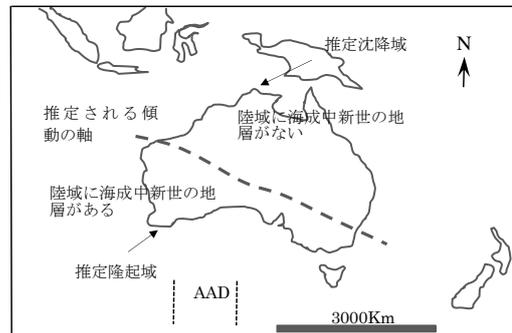


図-2 オーストラリアの新生代の隆起、沈降モデル 原著論文をもとに作成

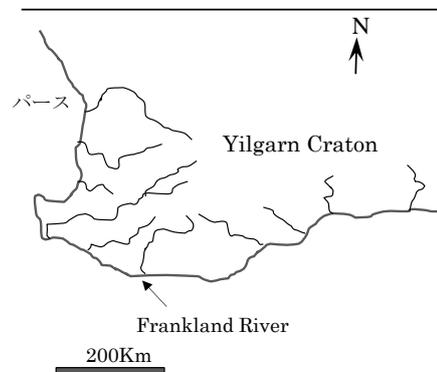


図-3 オーストラリア南西部で解析した河川の分布 原著論文をもとに作成

河川断面、SA関係図、DS関係図のほか、流れの方向変化、河川沿いに横断面等を作成した。その一例を模式化して図-4に示す。その結果は、平衡状態の滑らかに窪んだ断面に比べて強く上に凸の形状をなし、窪み指数は上流域で0.2~0.8、中流域でマイナス、下流域で非常に高い値で不均衡なことを示している。これらは、この地域に構造的な隆起があることを強く示唆している。

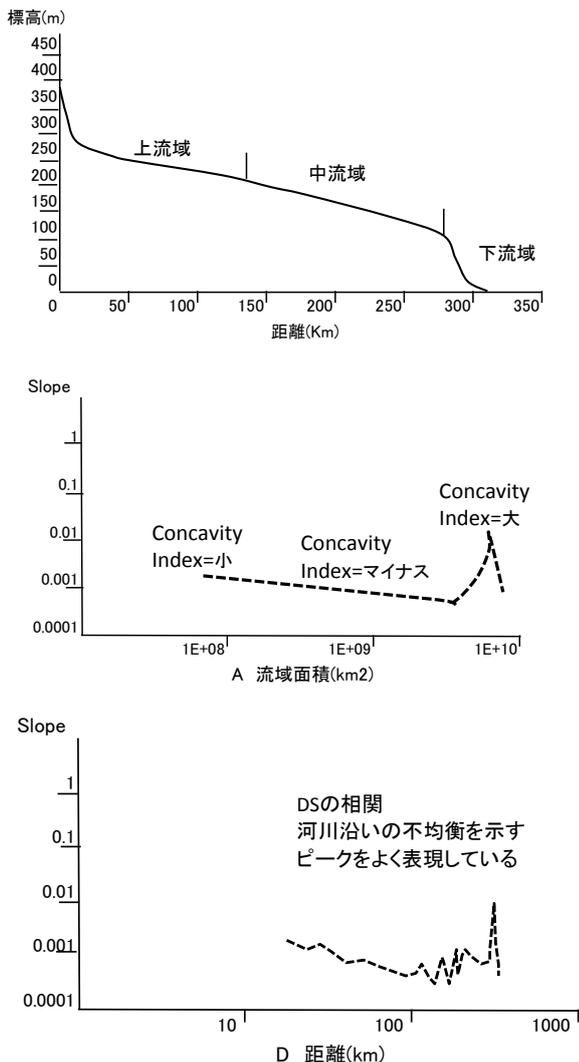


図-4 模式化した解析図の例 原著論文をもとに作成

Identification and characterization of a blind fault in New Zealand

2010年から2011年にニュージーランド南島のクライストチャーチで起きた地震は、カンタブリ平野では認識されていなかった活断層が動いて起きた。地表まで達していない伏在断層のためか地形的特徴が乏しかったが、地震発生より前に行った反射法探査によってクライストチャーチの北西30kmに伏在断層(Springbank断層)が発見されていた。

ニュージーランドはオーストラリアプレートと太平洋プレートの境界に位置し、それぞれが反対方向に斜めに沈み込んでいる。南島のアルプスは

それに応じて高い山脈をなし、山脈の浸食によってその東側に位置するカンタブリ平野は第四紀の厚い砂礫層で埋まっている。

Springbank断層上に見られる傾斜した地層は7万年前に堆積したものとされており、地表面を精査したところ、以前は氷河作用によって形成されたと考えられた地形が微妙な地層の褶曲によるものらしいことがわかった。

河川特性による地形変動と断層の存在の推定は、GI/Kの値の変動と流況の変化に着目した。Cust川を中心にして解析したところ、断層が通過する推定位置でGI/Kが4.2と周辺よりも高い値を示し、その付近で河川の流況が蛇行から脈状の多数の流れに変わり、下流で再び蛇行している。このような河川の形態は、地盤の隆起変形に伴って見られるものと考えられる。その他の河川においても、GI/Kの値が2以上を示す流れの変化は、これまでに知られている断層や褶曲構造の位置に関係していることが判明した。

図-5に示す推定される断層は長さ26kmで、地表に達していないが断層近くに広い背斜構造を伴っており、推定位置の北東端付近において追加で実施した反射法探査によって断層の存在が確認された。経験式に基づくと、Springbank断層の最大マグニチュードはMw=6.7と算定され、ニュージーランドの地震被害想定に含まれた。

このように、地形的特徴が乏しい地域における活断層の調査において、河川の解析がひとつの有効な手法であることが確かめられた。

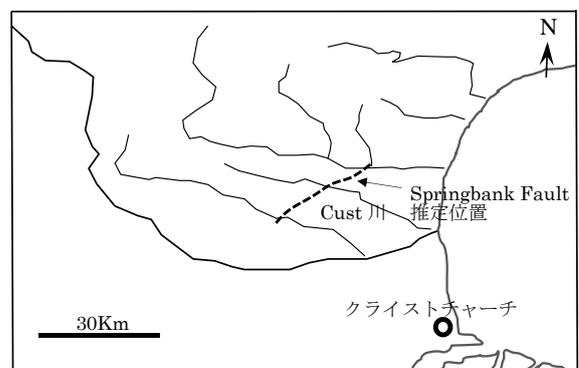


図-5 Springbank断層の推定位置と河川の分布 原著論文をもとに作成

3. 終わりに

2010年9月6-7日にニュージーランドのオークランドで第11回のIAEGコンgressが開催され、それに向けて出発する4日の早朝にクライストチャーチ近くで地表地震断層が出現したM=7.1の地震が起きた。幸い犠牲者が出ず、会議においては同じ年の1月にハイチで20万人以上の死者が出た地震と比較し、日頃からの防災意識の醸成と準備のたまものだとニュージーランド人の気質もあって盛り上がった。しかし、翌年の2月に再びM=6.3の地震が起きて185人が犠牲になってしまった。そして、それから一か月も経たない3月11日に、予想もしなかった東日本大震災が起き日本中が震え上がることになった。

今回、紹介した論文にある河川の形態変化による地殻変動や活断層の位置の推定は、著者も論文中で述べているが、他のいろいろな調査や分析と組み合わせるものと考えられ、単独で結論付けられるものとは思われない。しかし、案外、一般の人にはわかりやすい説明の一つになるようにも思われる。

地形・地質の生い立ちは地震や土砂災害等の自然災害と密接に関係しているし、負の面ばかりではなく景観や自然のめぐみ等にも関係しており、知ることによって豊かになる面もある。いろいろな場面で、地域の人々、特に若者に興味を抱いてもらうような取組が求められる。

参考文献

- 1) 諏訪兼位(2015) : 地球科学の開拓者たち, 岩波書店
- 2) Doyle MW, Harbor JM(2003) Modeling the effect of form and profile adjustments on channel equilibrium timescale. *Earth Surf Proc Land* 28:1271-1287
- 3) Finnegan NJ, Roe G, Montgomery DR, Hallet B (2005) Controls on the channel width of rivers: implications for modeling fluvial incision of bedrock. *Geology* 33(3):229-232
- 4) Gucione MJ(2005) Late Pleistocene and Holocene paleoseismology of and intraplate seismic zone in a large alluvial valley, the New Madrid seismic zone, central USA. *Tectonophysics* 408(1-4):237-264
- 5) Holbrook J, Autin W, Rittenour TM, Marshak S, Goble RJ(2006) Stratigraphic evidence for millennial-scale temporal clustering of earthquakes on a continental-interior fault: Holocene Mississippi River flood plain deposits, New Madrid seismic zone, USA. *Tectonophysics* 420: 431-454
- 6) Burbank D, Anderson R(2011) *Tectonic geomorphology*. Blackwell, London, p274
- 7) Wobus C, Whipple KX, Kirby E, Snyder NP, Johnston J, Spyropolo K, Crosby B, Sheehan D(2006) Tectonics from topography: procedures, promise and pitfalls. In: Willett SD, Hovius N, Brandon MT, Fisher DM (eds) *Tectonics, climate, and landscape evolution*. Special paper 398. Geological Society of America Boulder, pp 55-74
- 8) Snyder NP, Whipple KX, Tucker GE, Merritts DJ(2003) Channel response to tectonic forcing: field analysis of stream morphology and hydrology in the Mendocino junction region, Northern California. *Geomorphology* 53: 97-127
- 9) Goldrick G, Bishop P (2007) Regional analysis of bedrock stream long profiles: evaluation of Hack's SL form, and formulation and assessment of an alternative (the DS form). *Earth Surf Proc Land* 32(5):649-671