

発展途上地域における詳細活断層図の作成とその意義 —— ネパールを対象として ——

熊原康博*・中田高**

Detailed mapping on active fault in developing region and its significance: A case study of Nepal

Yasuhiro KUMAHARA* and Takashi NAKATA**

目 次

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| I. はじめに | IV. 発展途上地域における詳細活断層図
を作成する地震防災的な意義 |
| II. 活断層図の作成手順 | V. おわりに |
| III. インフラストラクチャーの立地に関
する地震防災上の問題 | |

I. はじめに

現在、筆者らの研究グループは、ネパール全域を対象とした縮尺5万分の1の活断層図の刊行作業を進めている。このような活断層図の制作が可能となったのは、ネパール政府が1990年代に縮尺2.5万分の1及び5万分の1という精密な地形図を発行したことが大きく、これにより活断層の位置を正確に地図上に示すことが可能となった。隣国のインドでは、地形図や空中写真の利用が著しく制限されており、活断層分布や変位様式の概略でさえ十分に解明されていないことと対照的であり、発展途上地域における活断層研究や地震防災対策の先駆的な成果になるといえる。

そもそも大地震が発生する原因は断層運動である。しかし、地震を発生させるすべての断層が地表変位をもたらす、活断層として認識されるとは限らない。震源断層が地表に近い（深さ約20km以浅）場合で、かつ地震の規模が大きい場合（経験的にはM7以上）において、地表地震断層（活断層）が現れる。断層による地表変位は数百～数万年の間隔でほぼ同じ場所で生じ、変位が累積することによって断層変位地形が形成される。したがって、活断層の存在は、その地域で過去に大地震が繰り返し発生したことを示し、さらに将来大地震がほぼ確実に発生するといえる。

* 広島大学総合地誌研究資料センター; Research Center for Regional Geography, Hiroshima University

** 広島大学大学院文学研究科; Graduate School of Letters, Hiroshima University

日本においては、国内全域の活断層分布を縮尺20万の1地勢図上に提示した『日本の活断層』（活断層研究会編，1980）の刊行によって活断層運動の地域性が明らかとなり、内陸直下型の大地震がどこで発生し、どの地域で発生しやすいのかを予測できるようになった。その後『九州の活構造』（九州活構造研究会編，1989）、『近畿の活断層』（岡田・東郷編，2000）では縮尺50,000分の1地形図上に、1996年より国土地理院から発行された『都市圏活断層図』では縮尺25,000分の1地形図上にそれぞれ活断層分布と変位様式が示され、基図の大縮尺化によって活断層の地表トレースの分布がより正確に提示されるようになった。近年では『活断層詳細デジタルマップ』（中田・今泉編，2002）が刊行され、縮尺25,000分の1の精度の活断層図がGIS（地理情報システム）を利用して閲覧・検索ができるようになった。しかし活断層の位置情報は原子力発電所やダムの適地選定などでは活用されているものの、高速道路の路線計画や病院・学校など身近で公共性の高い施設の立地選定に活用されている状況とはいえない（中田・隈元，2003）。

一方、アメリカでは、特にプレート境界である西海岸地域を中心に、これまで活断層に関する多くの研究成果が蓄積されており、それらを網羅した第四紀断層・褶曲データベースがアメリカ地質調査所によってweb上（<http://qfaults.cr.usgs.gov/>）で公開され、断層線の位置に関するGISデータも容易に入手できるように整備されている（奥村，2003）。また、多くの活断層が発達し、内陸直下型地震も発生しているカリフォルニア州では、1971年に発生したサンフェルナンド地震を契機として、1973年から「アルキストープリオ地震源断層帯法（Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning Act）」が施行された¹⁾。この法律は、縮尺24,000分の1地形図に表示されたカリフォルニアのすべての活断層について、断層を中心とする幅100～300mの範囲を、開発や人間の居住を制限することを目的として制定された（Hart and Bryant, 1999）。

さらに、アラスカ州では、製油パイプライン建設時に付近の活断層の位置と変位様式の詳細を把握し、パイプラインと活断層の交点に断層変位に対する対策を講じていた。2000年デナリ地震では、まさにパイプラインを横切る活断層が活動し、パイプラインとの交点では5.5mの断層変位が生じたものの、パイプラインは破損しなかった（Ebehart-Phillips et al., 2002）。このように地震が頻発するアメリカでは、社会的な要請も強く、早くから活断層図の整備と活用促進への実際的な取り組みがなされ、実際に特筆すべき成果を挙げている。

一方、発展途上地域の政府機関においては、活断層図の地震防災への意義を十分に理解されているとはいえない。発展途上地域では、活断層を認定できる専門家が少ないことや、軍事上、政策上の理由から、活断層図作成に不可欠な大縮尺の地形図や空中写真が公

開されていないことが多く、活断層図の作成は一般に困難である。しかし、活断層図作成の意義は、高度な土地利用がなされインフラストラクチャーがすでに整っている先進国よりも、これからインフラストラクチャーの整備が進められる可能性が高く、かつ限られたインフラストラクチャーに依存する傾向が高い発展途上地域の方が大きいといっても過言ではない。

本研究で対象とするネパールはヒマラヤ山脈の中央部に位置し、東西800km、南北約170~220kmの約14万 km² (日本の本州の6割に相当)の面積をもち、国土の75%が山岳地域に相当する。ヒマラヤはインドプレートとユーラシアプレートが衝突するプレート境界域であるため、活断層の分布密度は高く、過去に大地震が繰り返し発生していることでも知られる (図1)。

1970年から現在までのネパールの地震活動についてみると、主に山岳地域でM= 5~6.5の中規模地震が9回発生している。ただし、発生した地震の発生深度は深く、地表地震断層が生じた明らかな記録はない。さらにネパールを含めたヒマラヤのM= 8を超える巨大地震は1897年、1905年、1934年、1950年に発生している。これらの地震は、その規模から地表地震断層が発生する可能性が高いにもかかわらず、明瞭な地表地震断層が生じたとする報告はない (Yeats et al., 1997)。多くの研究者は、ヒマラヤ前縁帯を大地震が発生する地震危険度の極めて高い地域として注意を払っているものの (Bilham et al., 1995など)、活断層分布と地震との関連についてはさほど注目されているとはいえない。少なくともネパールの市民レベルにおいて、活断層の運動が地震の原因であることや、活断層に沿って断層変位が生じるという認識は浸透していないといえる。

ネパールの活断層分布や変位様式については、Nakata (1982) によってその概要が説明されている。ただし、Nakata (1982) が用いた空中写真は、高ヒマラヤ地域が撮影されていないこと、1960年代に撮影されたものであるためタライ平原が厚いジャングルに覆われていたことから、ネパール全域の断層分布や変位様式が明らかにされていたわけではなかった。また、当時利用できた地形図は、1960年代に作成されたインド測量局作成の1インチ1マイルの地形図で、等高線も40mと間隔が広く、詳細な活断層図の基図とするには不十分であった。加えて、1980年代以降、カトマンズ盆地周辺や平野部を中心に開発や都市化が進行し、舗装道路の建設や電力線の設置などインフラストラクチャーの整備も進められつつあり、現在のネパールの状況は1960年代の状況とは全く異なっている。

このように、ネパールの活断層研究には一定の成果が蓄積されているものの、ネパール全域の活断層図を作成する条件は揃っていなかった。今回、1990年代に撮影した空中写真や発行した地形図を用いることによって、ネパール全域の活断層の位置をより正確に提示

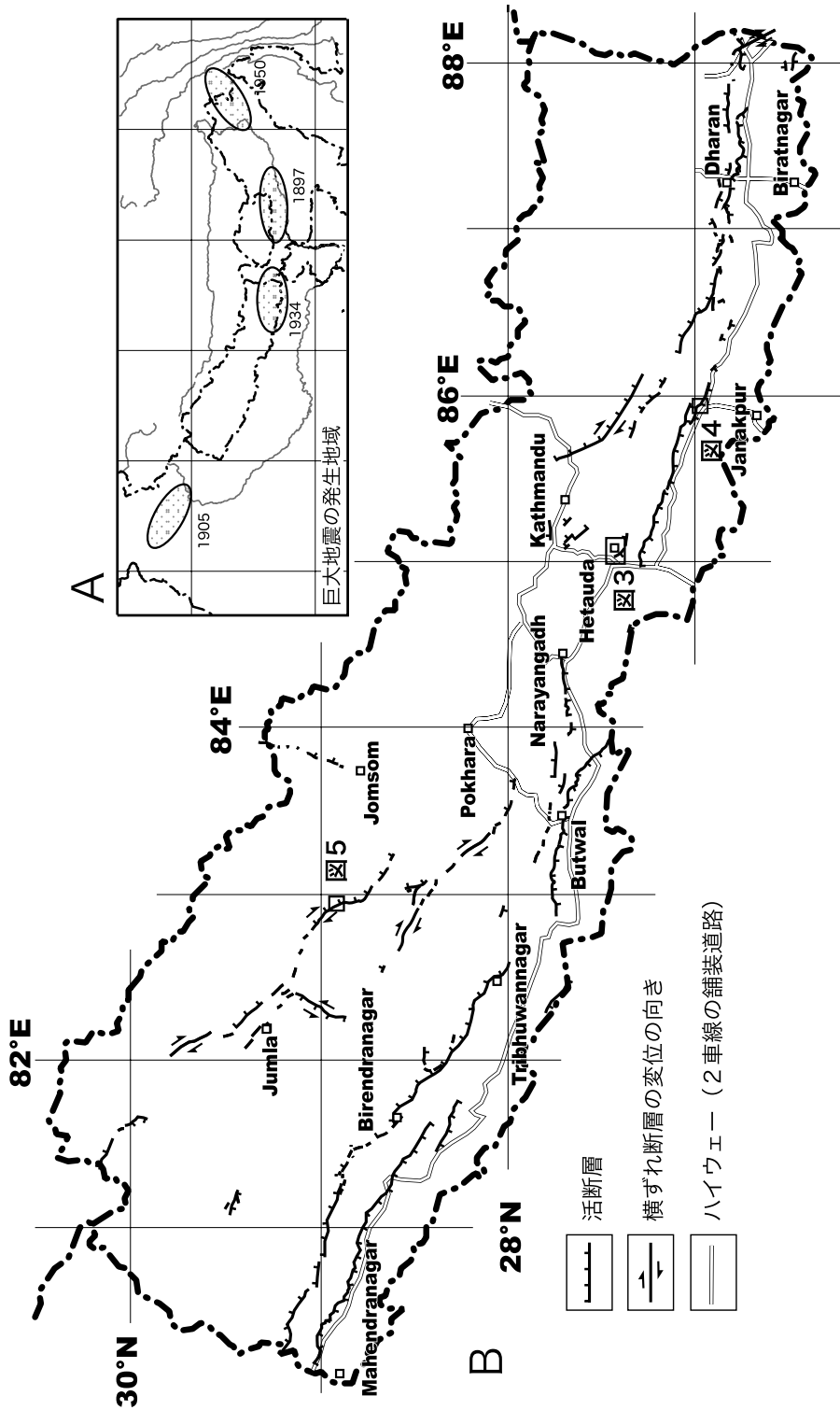


図1 本研究で明らかになったネパールの活断層の分布

することや、活断層と集落やインフラストラクチャーとの位置関係を把握することが可能となった。本報告では、活断層図の作成手順を述べた後、ネパール詳細活断層図の発行がどのような意義をもつのか具体的な事例を挙げながら検討したい。

II. 活断層図の作成手順

本研究では、空中写真を用いた実体視によって断層変位地形を判読し、その結果を地形図に示すことによって、活断層図を作成した。以下、判読に用いた空中写真及び地形図について述べ、活断層図の作成手順について述べる（図2）。

1. 活断層判読に用いた空中写真と地形図

活断層の地形判読をおこなうために今回利用した空中写真は、ネパール政府測量局（Survey Department of His Majesty's Government of Nepal）が1990年代に撮影した縮尺約5万分の1モノクロ空中写真である。この空中写真は、ネパール全範囲をくまなく撮影しており、雲などによる遮蔽もなく、日本の空中写真と同程度の鮮明さをもつ。外国人は、この空中写真の購入を禁止されているものの、ネパール政府測量局の図書室では外国人でも自由にすべての空中写真を閲覧することができる。

使用した地形図は、判読に利用した空中写真を基に作成されたもので、山岳部では縮尺5万分の1、平野部では縮尺2.5万分の1である。ほとんどの地形図作成や空中写真撮影には、フィンランド政府の協力によって行われたが、ネパール中部ルンビニ県のみ、日本国際協力機構（JICA）の協力によって行われた。ところがフィンランド政府側では緯度・経度をもとにJICA側との地図作製範囲の境を決めているのに対して、JICA側は行政界をその境としているため、どちらの地図にも図化されていない空白域ができるなど、二つの機関が別々に協力したことによる憂慮すべき弊害が生じている。しかも、残念なことに空白域付近に活断層が分布しており、活断層と土地利用の関係がわからない地域が存在する結果になった。とはい

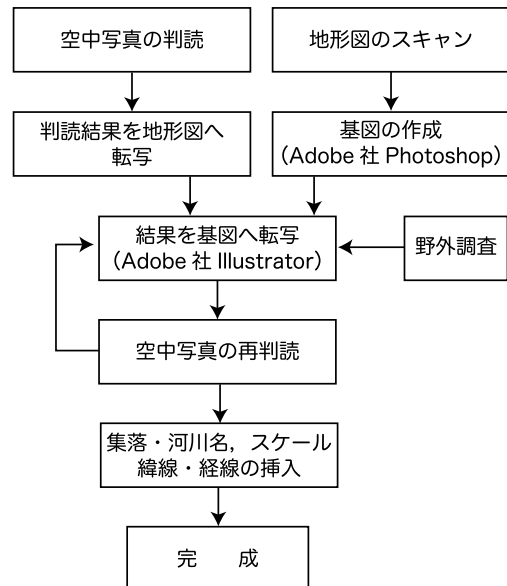


図2 活断層図作成のフローチャート

え、フィンランド政府が技術協力した6色刷りの地形図は極めて精巧に作られており、集落名や道路の幅、高压電線、病院施設、自治体の庁舎の位置など土地利用や地理的事象に関する膨大な情報が盛り込まれている。また、等高線間隔は、山岳部では40m、平野部では10~20mとなっており、山岳部では日本の同縮尺の地形図に比べてその間隔は広がっているが、起伏の激しい山岳地域でも隣接する等高線が重なってつぶれないように考慮されていると考えるべきであろう。これらの地形図は、ユニバーサル横メルカトル図法により投影されており、南アジアで一般的な Everest1830を準拋楕円体として採用している。また直交座標系のグリッドも図示されているため、GIS 上に活断層分布を投影することも比較的容易である。

2. 活断層図作成の手順

空中写真判読にあたっては、まず Nakata (1982) で示された活断層分布に沿って判読し、その後、ネパール全域についておこなった。認定した活断層は、日本の都市圏活断層図の判定基準に準じて、明瞭な地形的証拠から位置が特定できるもの、活動の痕跡が浸食や人工的な要因等によって、その位置が明確に特定できないもの、断層変位が軟弱な地層内で拡散し地表に撓みとしてあらわれたもの、沖積層や新しい地層に伏在しているものの4つに区分した。また、変位地形を伴わないが、明瞭で連続性の良いリニアメントを推定活断層とした。段丘面の逆傾斜、活褶曲、変位様式、河谷の屈曲、プレッシャーリッジの断層変位地形もあわせて判読した。

次に、空中写真判読によって得られた活断層分布を基に、東ネパールを中心に断層沿いの地表踏査をおこなった。その結果、野外にて断層露頭や地層の変形など活断層が存在する地質学的な証拠を得た。また、断層変位を受けた段丘面などの変位量を計測した。野外調査後、改めて断層沿いを中心に空中写真判読を行い、前回の判読や転写時のミスを修正した。

活断層や断層変位地形に関する位置情報は、地形図を加工した基図に、推定活断層を除き赤色で図示した。活断層の断層線は、便宜上見やすくするため太さ1.25ポイント（図上で15mに相当）で表現したが、実際にはこれ以上の精度をもつ。基図は、A4用紙に収まる25cm×18cmの大きさとし、活断層が地図の中央に通るように、オリジナルの地形図のスキャン画像を貼り合わせ、さらに隣の基図と幅1cm以上オーバーラップするように配置した。また基図の縮尺を統一するため、2.5万分の1地形図を50%縮小して、基図の縮尺をすべて5万分の1に揃えた。基図は印刷コストを考慮してグレースケールとした。オリジナルの地形図は6色刷りであるため、グレースケールで直接スキャンした場合、等高線を示す茶色が他の色と混じって不明瞭になる。それを避けるため、24bit カラーでス

キャンした後、茶色以外を除去し、等高線のみを強調するように加工した。地形図のスキニングから基図作成までの作業は、画像処理ソフト Adobe 社 Photoshop によって行い、基図上に活断層や断層変位地形などを書き加える作業は、画像処理ソフト Adobe 社 Illustrator を用いた。

これによって作成した活断層図は全部で185枚、1枚のファイルは300dpi相当となり、サイズは3Mバイト程度である。この活断層図の一例として、図3にネパール中南部ヘタウダ (Hetauda) 周辺の活断層図を示した。ヘタウダは、カトマンズとタライ平原を結ぶハイウェイが通過する交通の要所で、工業団地 (Industrial Estate) やセメント工場が立地する工業都市の一面ももつ。この活断層図からは、ヘタウダの市街地、集落、工業団地と活断層の位置関係を把握することができ、ヘタウダの市街地西縁に活断層が分布していることが見て取れる。

Ⅲ. インフラストラクチャーの立地に関する地震防災上の問題

ここでは、水力発電所、送電線、幹線道路のインフラストラクチャーを事例として、活断層図上で判読できるこれらと活断層の位置との関係から想定される被害について予察的に検討する。このような検討は、既存施設の立地上の問題を提起するだけでなく、今後の立地や路線選択の際に警鐘を与える意味をもつ。

1. ネパール中南部バルディバスの事例

ネパール中南部バルディバスは、約30km北にあるシンドゥリ県 (Sindhuli District) の中心地シンドゥリマディ (Sindhulimadhi) への道路とネパール東西を結ぶマヘンドラハイウェイの交差点にあたる交通の要所である (図4)。現在、日本のODAによってバルディバスからシンズリマディを経てカトマンズへ通じるハイウェイが建設中であり、全線が開通した場合この街は大きく発展することが予想される。バルディバスではネパールの東西を結ぶただ一本の幹線送電線 (132kV) がほぼマヘンドラハイウェイに沿って通過している。この地域の活断層は、ラト川 (Rato Nadi) 右岸では、比高50mの明瞭な撓曲崖、左岸では比高10mの撓曲崖が河川に直交するように発達しており、山地側が隆起する逆断層運動である。またラト側兩岸の段丘面は上流に向かって逆傾斜しており、撓曲崖と同様に逆断層運動を示唆する断層変位地形が認められる。実際に現地調査では、ラト川右岸の段丘礫層が撓曲崖の基部に向かって撓んでいるのが観察され、この崖がラト川の側方浸食によって形成された崖ではなく、断層運動によって形成されたことを裏付けている。

送電線と活断層の位置関係を見てみると、図中のB、C、Dの地点で両者が交差してい

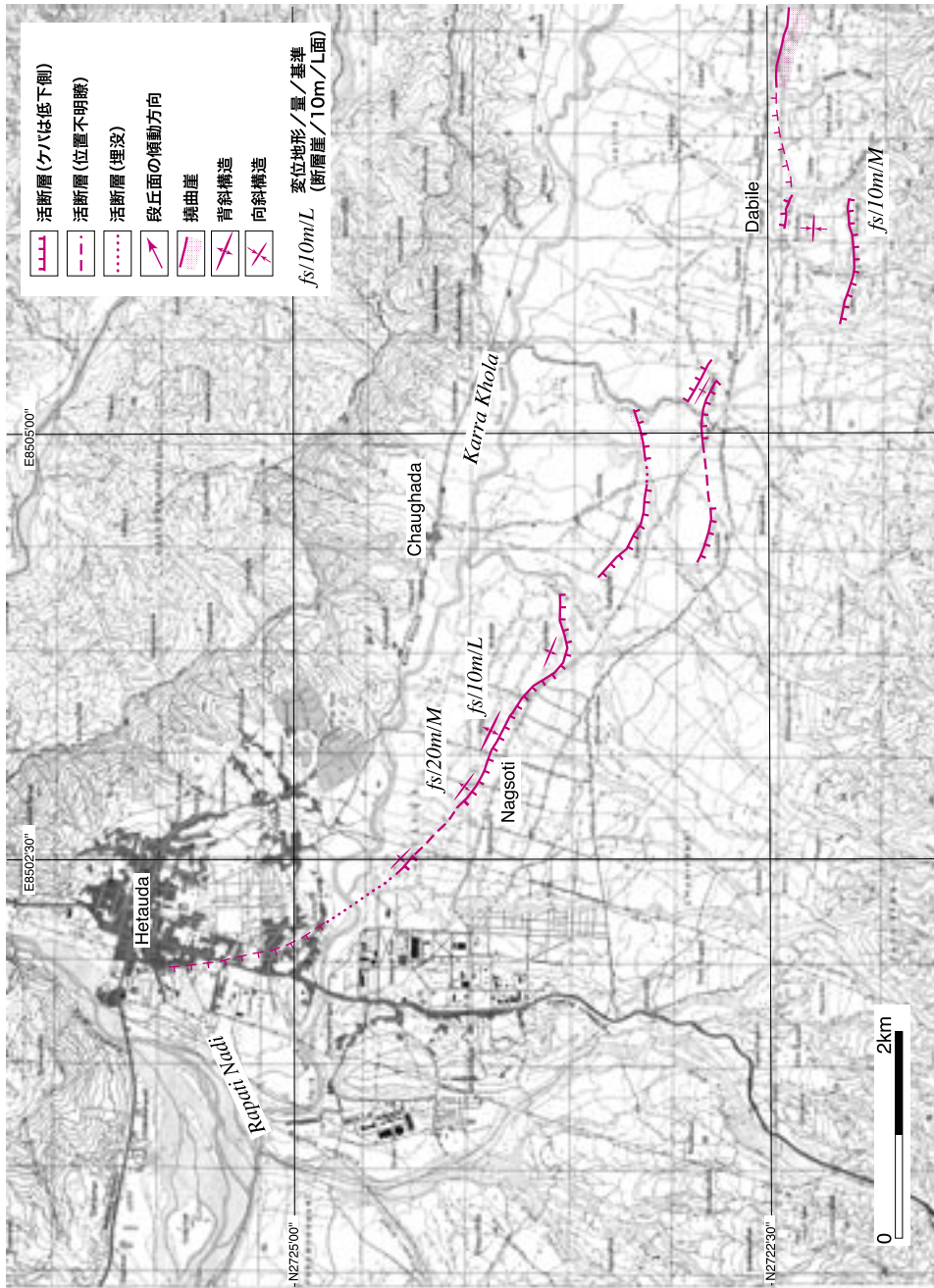


図3 ネパールの活断層区の一例 (ネパール中南部へタウダ周辺)
 位置は図1に示す。

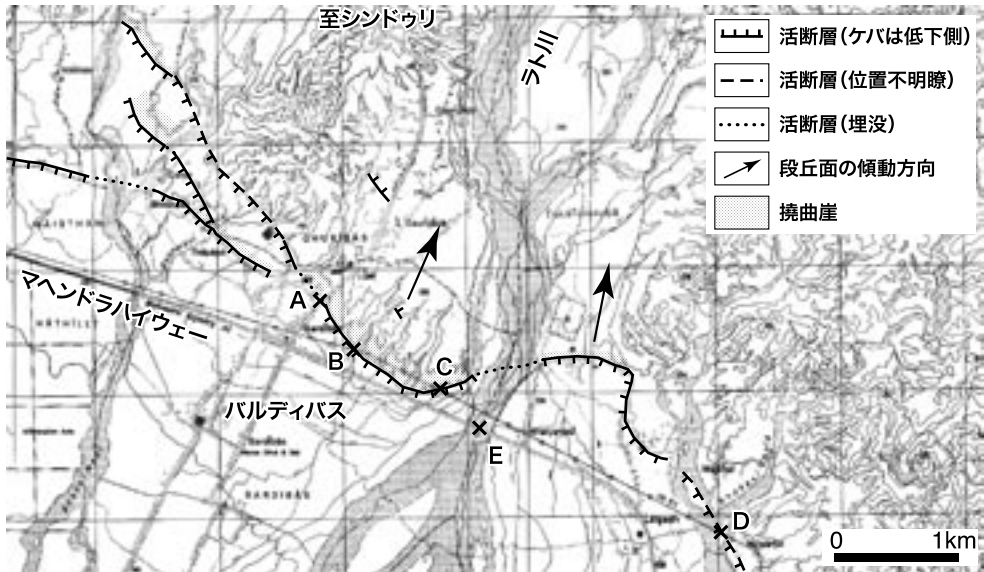


図4 ネパール南東部バルディバスにおける幹線道路，送電線と活断層の位置位置は図1に示す。

る。また BC 間では，送電線を支える鉄塔が撓曲崖上に建設されているのが確認できる。したがって，将来この断層が再活動すると，BC 間で鉄塔下の地盤が持ち上げられるために鉄塔が壊滅的な被害が生じることが想定される。バルディバス近郊の長さ約 4 km という短い範囲の中で送電線が 3 回も断層線と交差していることや，撓曲崖上に鉄塔を建設することは，地震防災上不適切な立地といえる。この活断層はヒマラヤ前縁帯活断層 (Himalayan Frontal Fault) と呼ばれるシワリク丘陵の南縁に沿って発達する東西走向の断層であり，送電線の走向とほぼ平行である。したがって，活断層の位置が送電線の設置計画時に認識されていれば，送電線が何度も断層線を横切るような立地選定は避けられずである。

次にマヘンドラハイウェイと活断層の位置関係を見ると，C 地点の南西の付近で撓曲崖と道路が最も近接しているが，そのほかではハイウェイと活断層とは 500m 以上離れている。マヘンドラハイウェイは，盛土の上に両側 1 車線の舗装した部分と人馬が通行できる未舗装の部分からなる道路である。したがって地震動や断層変位によって破壊された場合でも復旧にはさほどの費用や期間は必要としないと考えられる。ただし，E 地点のラト川にかかる橋は鉄筋コンクリート製の長さ 400m 程度の橋であり，雨期のラト川の増水にも十分耐えられるように造られている。これと撓曲崖との距離は 200m 程度しかなく，断層運動が発生した場合，橋に致命的な被害をもたらす，多額の修復費用を必要とし，交通や

輸送に多大な悪影響をもたらす可能性がある。

2. 市街地及び水力発電所の立地と活断層の位置関係

ネパール北西部ドルパ県 (Dolpa District), トゥリベリ川 (Thuli Bheri Nadi) の支流では, 小規模水力発電 (200Kw 規模) を1999年から行っている (図5)。この発電所は, ドルパ県の中心地であるドゥナイ (Dunai) へ電力を供給する唯一の施設である。ドゥナイは, 標高約2,000m に位置し, カトマンズやタライ平原から車が通行できる道路で結ばれておらず, 国内の送電線網とも孤立している。ドゥナイの人口



図5 ネパール北西部ドゥナイ (Dunai) 付近における水力発電所・送電線と活断層の位置関係位置は図1に示す。

は2001年では2,000人程度であるものの (Sharma et al., 2002), ネパール北西部では数カ所しかない空港が付近の集落にある。ネパール北西部の山岳地域は, ネパールの中で最も貧困に直面している地域であり, しばしば食料や医療品などの援助なども行われ, ドゥナイはその中継地として利用されている。ドゥナイの市街地は主中央断層 (Main Central Fault) を構成する右横ずれ断層のほぼ直上に位置している。ドゥナイへ送電する水力発電所と断層の位置とは100m ほどしか離れていない。また, 発電所からドゥナイへの送電線は, 断層のトレースとほぼ一致しており, これらも断層運動が生じた場合, 市街地と同様に壊滅的な被害を受けると考えられる。

IV. 発展途上地域における詳細活断層図を作成する地震防災的な意義

本章では, 活断層分布の詳細な位置を公開するによって, 発展途上地域においてどのような地震防災上の効果を期待できるのかを検討する。

1. 活断層の運動に起因する地震動への対策

活断層に起因する大地震が発生した場合, 地表面の激しい揺れ (地震動) によって, 多くの建物が倒壊し, 被害が震源断層から数十~百 km 以上離れた広い範囲にわたって発生

する。任意の地点における地震動の強さは、震源断層からの距離に必ずしも比例するものではなく、断層面の形状、地震波の伝播経路や地盤条件などによって変化することが知られている。ネパールでの事例でいえば、1934年に発生したネパール・ビハール地震では、ネパール南東部のシワリク丘陵南縁がその震源域であったにもかかわらず、これより100km 南のインド・ビハール州パトナでも激しい地震動によって、大きな被害が生じた(Pandey and Molnar, 1988)。しかし、ネパールでは、任意の地点における地震動の強さを予測する、活断層の運動様式や地盤条件などに関する情報はほとんど得られていない。したがって、現在のところ中核的な医療施設や空港など地震発生時において救助・支援活動に拠点となる施設は、少なくとも活断層に近づけないように立地させることが、地震動の被害を軽減することになるだろう。例えば、ネパール東部では拠点となる公的病院²⁾や日本の NGO が設立した病院³⁾ が計 8 施設あるが、断層から 5 km 以内に立地している病院は 4 施設、10km 以内に立地している病院は 2 施設となっており、今後新たに医療施設を立地する際には、活断層からの距離を考慮する必要がある。

また、地震動によって崖崩れ、地滑りなど二次的な土砂災害も発生する。例えば、2004 年に新潟県で発生した中越地震では、直接の地震動によって建物が倒壊しただけでなく、第三紀堆積岩地帯特有の地滑りによっても、建物の倒壊、道路の寸断、河道閉塞による家屋の水没という深刻な被害が生じた。ネパールは、全面積の75%が丘陵・山地にあたり、約半数の国民が丘陵・山地地域に居住しているとされ、土砂災害に対して潜在的に脆弱な自然環境といえる。また、最も活動的とされるヒマラヤ前縁帯活断層の背後には、第三紀堆積岩層からなるシワリク丘陵が発達しており、地滑りに対する危険性も高い。大地震が発生した場合、山腹で地滑りや崖崩れが発生するとともに、雨期には地震動で脆弱となった山地から土砂が土石流となって流下し、長期間にわたって流域に被害をもたらすことが予想される。土砂災害は震源に近いほど規模や数が多いことが、これまで発生した地震被害から経験的に明らかにされている(中村ほか, 2000)。したがって、公共施設の建設にあたっては、活断層からできるだけ離れており、地滑り上や急傾斜地の背後ではなく、かつ土砂災害によって道路やライフラインが寸断されない地点を選ぶなど、地震動に対して十分考慮する必要がある。

2. 断層直上の変位への対策

地震被害のほとんどは、上述の広範囲に及ぶ地震動に起因するものであるが、一方で、地震の際に既存の活断層に沿って地表に出現する地盤の急激な断層変位によっても、建物の倒壊など直接的な被害が生じる。そのため、詳細活断層図の作成によって、断層直上に建物の立地を回避することが可能となり、断層変位による被害を軽減することが可能とな

る。高度な土地利用が進んでいる先進国に比べ、発展途上国ではインフラストラクチャーの立地やライフラインの路線の選定に自由度が高く、活断層図の有効的な利用が期待される。活断層が直下あるいは近傍に存在しないことを事前に確認すべき施設としては、被災時に救援・復旧活動のベースとなる医療施設・上水道施設・空港・テレビ・ラジオ通信施設、ガソリンスタンドなどの危険な施設、建設に多額の費用を必要とし、国民の生活の基盤となる水力発電所や農業用灌漑施設などが挙げられよう。

発展途上地域では、インフラストラクチャーやライフラインの整備が限られているため、既存施設への利用が極度に集中する傾向がある。ネパールでは、国内を東西に横切り舗装された幹線道路は、タライ平原にある両側1車線のマヘンドラハイウェイのみであり(図1参照)、タライ平原とカトマンズを結ぶ幹線道路も現在2つの路線しかない。また、高圧送電線についても、国内を東西に横断する送電線は1本しかなく、断線した際に断線箇所を迂回するような経路は設けられていない。大地震が発生し、断層近傍のインフラストラクチャーに壊滅的な被害が生じた場合、地震によって直接被災した地域だけでなく、ネパール全体に社会・経済的な深刻な影響が及ぶことが予想される。このことから、インフラストラクチャーやライフラインの建設にあたっては、活断層の位置について十分に考慮する必要がある。

また、幹線道路や送電線がやむなく活断層を横切る必要がある場合でも、これらと活断層をできるだけ直交させて被害が及ぶ範囲を少なくし、鉄筋コンクリートの橋や鉄塔など復旧に費用や時間がかかる施設をできるだけ配置しないようにすることなど、起こりうる被害を最小限に軽減することも可能であろう。

3. 防災意識の教育・啓蒙としての役割

現在、ネパールでは、来たるべき大地震に備えるように訴える教育・啓蒙活動がテレビやラジオなどを通じてなされている。この教育・啓蒙活動に、詳細活断層図が活用されることによって、自分の身近な地域に地震の原因があることを気づかせる契機となることが期待される。特に、断層変位地形のように目に見える形で地震の痕跡を提示することは、地震が身近に存在することを強く訴えるといえる。ただし、ネパールを含めてヒマラヤで発生した地震では、明瞭な地表地震断層は認められていない。したがって、1999年に台湾で発生した集集地震や、1995年の阪神淡路大震災のような海外の事例をふまえた資料提供も併せて必要かもしれない。

V. おわりに

本論文では、ネパールの事例をもとに、詳細活断層図の作成手順と、この活断層図がどのように役立つのか、若干期待をこめた検討をおこなった。ネパールでは、今後もインフラストラクチャーや公共施設が政府機関や外国援助によって整備され、それに伴って農業や工業の発展が予想される。インフラストラクチャーやライフラインといった公共事業の整備計画に、この活断層図が活用されることを念頭に本論文では意識して述べてきたが、民間ベースの工場や住宅地の建設においても、この活断層図が活用されることによって地震被害の軽減に役立つと考えられる。

詳細活断層図は地形図と空中写真が自由に利用できれば作成することが可能であり、低コストで費用対効果も高い。今後、多くの発展途上地域においても、詳細活断層図の地震防災上への意義が認識され、インフラストラクチャーやライフラインの立地計画に詳細活断層図が寄与することを期待したい。

ネパールについていえば、活断層の位置を地理情報システム (GIS) 上で示せるデータに構築する必要があるだろう。それによってハイウエーの橋の位置や、医療施設の立地、電力線などのインフラストラクチャーの位置データと重ね合わせることもでき、断層が動いた場合に想定される被害についても検討できる。また、個々の活断層の変位速度や活動履歴を明らかにし、どの活断層に、より注意を向ければよいのか具体的に明らかにしていく必要もあるだろう。

[付記]

詳細活断層図の作成は、筆者を含め広島大学大学院教育学研究科 前李英明先生、山形大学教育学部 八木浩司先生、ネパールトリブバン大学トリチャンドラ校地質学教室 B. N. Upreti 先生と共同で行っている。琉球大学大学院理学研究科大学院生 D. Chamlagain 氏には、ネパールの電力供給や病院立地の実情に関する情報を頂いた。ネパール政府測量局の方々には、写真判読の際多くの便宜をはかって頂いた。これらの方々には記してお礼申し上げます。本研究には、科学研究費補助金 基盤研究 (B) 「活断層の形態的特徴を基にした地震モデルの実証的研究」(研究代表者：中田 高，課題番号14380032) の一部を使用した。

注

- 1) この法律は1994年までは「アルキスト-プリオロ特別調査地帯法 (Alquist-Priolo Special Studies Zone Act)」と呼ばれていた。
- 2) ここでいう公的病院とは、Regional Hospital (1施設), Zonal Hospital (2施設), district

- Hospital (3施設) 及び, B. P. Koirara Hospital (1施設) を指す。
3) この病院は, ネパール東部ダマク (Damak) にある日本の NGO, AMDA によって設立された病院である。

文 献

- 岡田篤正・東郷正美編 (2000) : 『近畿の活断層』. 東京大学出版会 .
奥村晃史 (2003) : アメリカ合衆国の活断層データベースとその応用. 活断層研究, 第23号, pp.5-12.
活断層研究会編 (1980) : 『日本の活断層-分布図と資料-』. 東京大学出版会.
九州活構造研究会編 (1989) : 『九州の活構造』. 東京大学出版会 .
中田 高・今泉俊文編 (2002) : 『活断層詳細デジタルマップ』. 東京大学出版会.
中田 高・隈元 崇 (2003) : 活断層位置情報から見た土地利用の問題点と「活断層法」について -活断層詳細デジタルマップの活用例 (1) 学校施設と活断層-. 活断層研究, 第23号, pp.13-18.
中村浩之・土屋 智・井上公夫・石川芳治編 (2000) : 『地震砂防』 古今書院.
Bilham, R., Bodin, P. and Jackson, M. (1995) : Entertaining a great earthquake in western Nepal: Historic Inactivity and Geodetic test for the development of strain. *Journal of Nepal Geological Society*, Vol.11, Special Issue, pp.73-88.
Ebehart-Phillips, D., P.J. Haeussler, J.T. Freymueller, A.D. Frankel, C.M. Rubin, P. Craw, N.A. Ratchkovski, G. Anderson, A.J. Crone, T.E. Dawson, H. Fletcher, R. Hansen, E.L. Harp, R.A. Harris, D.P. Hill, S. Hreinsdottir, R.W. Jibson, L.M. Jones, D.K. Keefer, C.F. Larsen, S.C. Moran, S.F. Personlus, G. Plafker, B. Sherrod, K. Sieh, and W.K. Wallace (2003) . The 2002 Denali Fault earthquake, Alaska: A large magnitude, slip-partitioned event, *Science*, Vol.300, pp.1113-1118.
Hart, E. W. and Bryant, W. A. (1999) : *Fault-rupture hazard zones in California-Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning Act with Index to Earthquake Fault Zone Maps*. California Department of Conservation, Division of Mines and Geology, Special Publication, Vol.42, 38p.
Nakata, T. (1982) : A Photogrammetric Study on Active Faults in the Nepal Himalayas. *Journal of Nepal Geological Society*, Vol.2 Special Issue, pp.67-80.
Pandey M. R. and P. Molnar (1988) : The distribution of intensity of the Bihar-Nepal earthquake of 15 January 1934 and bounds on the extent of the rupture zone. *Journal of Nepal Geological Society* , Vol.5, pp.22-44.
Sharma, H. B., Goutam, R. P. and Vaidya, S. (2002) : *District Demographic Profile of Nepal*. Informal Sector Research & Study Center, Kathumandu.
Yeats, R., T. Nakata, A. Farah, M. Fort, M. A. Mirza, M. R. Pandey and R. S. Stein (1992) : The Himalayan Frontal Fault System. *Annales Tectonicae*, Special Issue -Supplement to Vol.VI, pp.85-98.
Yeats, R. S., Sieh, K. and Allen, C. R. (1997) : *The Geology of Earthquakes*. Oxford, New York.

**Detailed mapping on active fault in developing region and its
significance:
A case study of Nepal**

Yasuhiro KUMAHARA and Takashi NAKATA

In this paper, we introduce the detailed mapping on active fault in Nepal as a leading work on reduction for seismic hazard in developing region. Active faulting, is an origin of large earthquakes, causes tremendous damage for human life when it happens. However, developing countries have little understanding for nature of active fault and significance of the detailed active fault map for seismic hazard.

We firstly show how to make the map. Then we enumerate two weak cases against faulting movement from the point of view of spatial relationship between the active fault and the infrastructures such as hydro-power station, the power lines and the bridge on the highway. Any infrastructure in Nepal is not considered to be located away from the fault. Some are too close to the fault to be dangerous if it moves.

Judging from natural and social condition of Nepal, we propose significance of detailed active fault map for developing region. The map provides the precious location of the fault to keep the public infrastructure away from the fault. Because the number of infrastructure in developing region is rarely and the function is subject to be concentrated at an existing infrastructure, if the fault moves, the damage hits not only the seismic area, but also its distant place extensively. As the map lets the local people to understand where the great earthquake is likely to happen, the map will be regarded as a tool of the enlightenment of the seismic hazard.