

谷底の膨らみ現象 (Valley Bulging) - 予報 -

野崎 保*

1. はじめに

地盤は川の侵食や人工的な掘削による除荷によって初めは弾性的な変形が生じ、ついで膨潤や割れ目の発生などによって、大なり小なりその内空部分に向う膨張現象が生ずる。バレーバルジング (valley bulging) は、このような膨張に伴う谷底部周辺の比較的表層部に現れる一連の変形現象であり、主に重力作用によって形成されるものと考えられており、バレーリバウンド (valley rebound) と表現されるケースもある。このような現象に関しては、今世紀初頭から今日に至るまで主に英国において多くの事例や発生メカニズムに関する研究報告があり、1944年に Hollingworth et al. によって初めて明確な定義付けがなされている。Varnes (1978) の分類では、この現象は斜面変動の一形態として分類されおり、多くの研究事例を総合すると、基本的にバレーバルジングとは”谷斜面下の比較的ダクタイルな (ductile) 地層が重力作用による塑性変形を起こして谷方向に押し出され、あるいは谷の侵食によって谷底部の地層がリバウンドすることによって、河床下の地層に膨らみが生じ、背斜状の構造 (valley anticline) あるいは複雑な褶曲構造などが形成される現象”である。

ところで、我が国においては、このようなバレーバルジングに関する研究や事例報告は認められない。しかし、筆者は少なくともその分布形態のみを取り上げれば、valley anticline と呼べる構造をいくつか確認しており、既往の地質図から読みとることのできるものもある (Nozaki:1996)。そこで、このような事例について報告するとともに、若干の考察を加えた。

なお、筆者は現在この問題に関してまだ検討中の段階であり、現時点においては詳細な報告ができないこととお断りしておく。

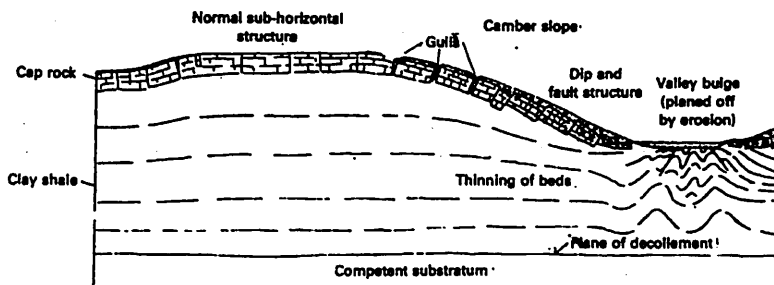


図1 Cambering and Valley Bulging (Varnes, 1978)

* 野崎技術士事務所

2. 研究史概観

イギリスの Lias clay とその上に載る Northampton 砂岩層の観察事例から、Hollingworth et al. (1944) は谷底部の背斜状構造について報告し、次のような特徴があることを示すと共にそれに伴う諸現象に関する用語の定義を行った (図 1 参照)。

- ・山頂から谷斜面に移る尾根部にみられる背斜状のたわみは重力作用による地層の垂れ下がり (sagging) によるものであり、この現象を cambering と呼んだ。
- ・谷底部の小背斜現象を valley bulges と呼び、一般に谷方向に平行な断層を伴い、地塁 (horst) の様な構造となることを明らかにした。
- ・谷側への地層の移動によって、斜面上には等高線に平行な割れ目が生じ、ときには地溝 (graben) 状の構造を生ずるが、このような割れ目を gull と呼んだ。
- ・gull によって硬質な地層中に生じた階段上の構造に関連して trough-fault gulls という用語を使用した。その後この構造は dip and fault structure と呼ばれるようになった。

Radbruch-Hall (1978) によれば、その後 valley bulging に関しては、ヨーロッパ、ロシア、カナダ、アメリカなどからもいくつかの事例が紹介されている。さらに、Matheson and Thomson (1973) はカナダにおける低弾性な堆積岩地域の事例について研究し、次のような点を指摘している (Pariseau and Voight, 1979)。

- ・侵食に伴う除荷によって谷底に膨らみ (upwarping) が生じ、緩やかな背斜構造が形成され、それに伴って flexural slip が形成される。
- ・弾性係数 350MN/m^2 (MPa) 以下の軟岩では谷の中心部のリバウンド量は谷の深さの 3 ~ 10 % 程度である。ただし、このようなリバウンドは地質学的な時間のスケールで発生するものであり、人工的な掘削ではその量は 1 % に満たない。

最近、Hutchinson (1991) は、それまでの研究成果を集大成し、谷底部の変形様式を地質条件によって大きく 3 つのタイプに分類している。そして、このような現象の多くが氷河時代の周氷河地域に見られることから、永久凍土の凍結融解が大きな要因の 1 つであるという観点で、そのメカニズムについて検討を加えている。さらに、Parks (1991) は文献調査により 600 以上の cambering と valley bulging の事例について検討し、凍結融解と谷の侵食作用に伴う応力解放を組み合わせたメカニズムを提唱している。

以上のように、英国においては、このような現象の多くが氷期における周氷河地域に見いだされることやこれらがすべて後期更新世に生じたものであって、現世には継続していない現象であることから、周氷河作用に深く関係しているものと解釈されている。すなわち、周氷河地域における永久凍土の凍結融解作用に関連して成長したものであるという解釈が支配的である。しかし、同様な現象は明らかに周氷河作用の圏外地域にも見いだされ、現在も成長を続けているという報告も見られ (Kellaway, 1972)、必ずしもそれが普遍的な原因であるとは考えられていない。また、Serafim (1964) はこのような変形は兩岸斜面を構成する岩盤の荷重と残留造構力が河床部に集中することによって生ずるものと解釈している。このように形成機構に関しては、場所や地質条件などによって多少の相違があり、周氷河作用がこのような現象を促進するということはあるにせよ、基本的には河川の

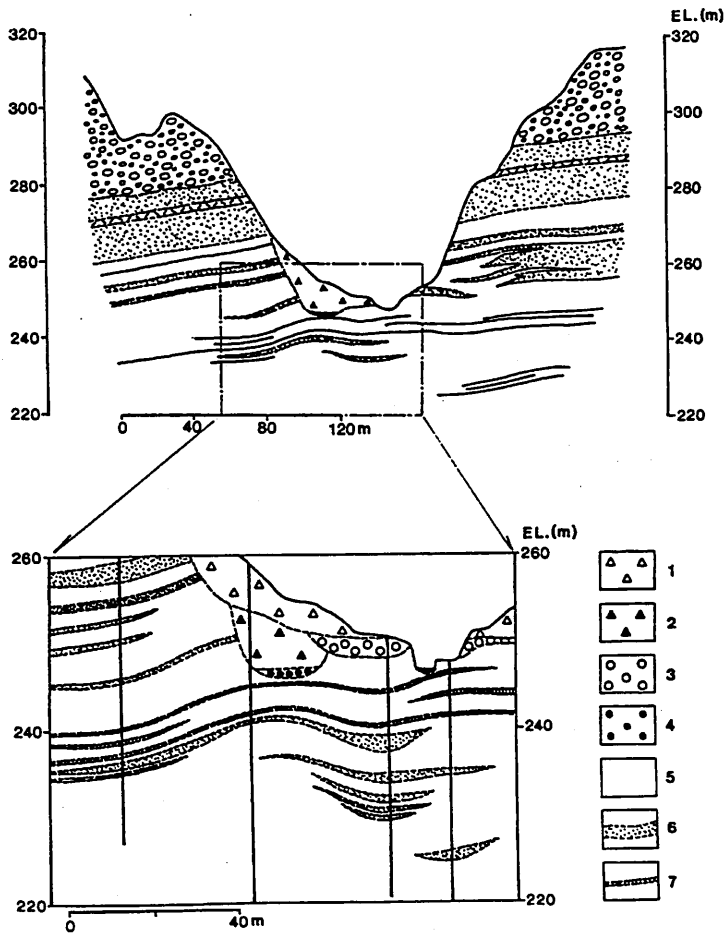
侵食に伴った応力解放とそれに伴う谷斜面のクリープ現象と解釈してよいようである。なお、valley bulging は造構運動によるものとは異なって、地表付近の比較的浅い地盤内のみを生ずる現象であるが、変形の生ずる深さは数10mに達するものがあると報告されている(Lapworth, 1911 Hill, 1949)。

3. 我が国における valley anticline の事例

筆者は、我が国でも新第三紀以降の堆積岩分布地域において、以下に記述するような事例と同様な構造は、かなり普遍的に存在するのではないかと考えている。現時点においてはすべてについて詳細な調査を実施したわけではないので、必ずしも valley bulging 現象を実証できたものとは考えていないが、少なくとも形態上は valley anticline と呼べるものが存在していることは確かである。

3.1 事例1

新潟県魚沼地域において、図2に示したような旧河床下における地層の膨らみが確認されている。現時点において詳細な報告はできないが、谷底に沿って魚沼層群の泥岩を主体とした地層中に背斜



1: 新期崩積土 2: 旧期崩積土 3: 沖積段丘堆積物 4: 旧河床堆積物 5: 泥岩 6: 砂岩 7: 亜炭

図2 信濃川小支流地質横断面図

状の膨らみが生じており、以下に記述するような性状であることを明らかになっている。

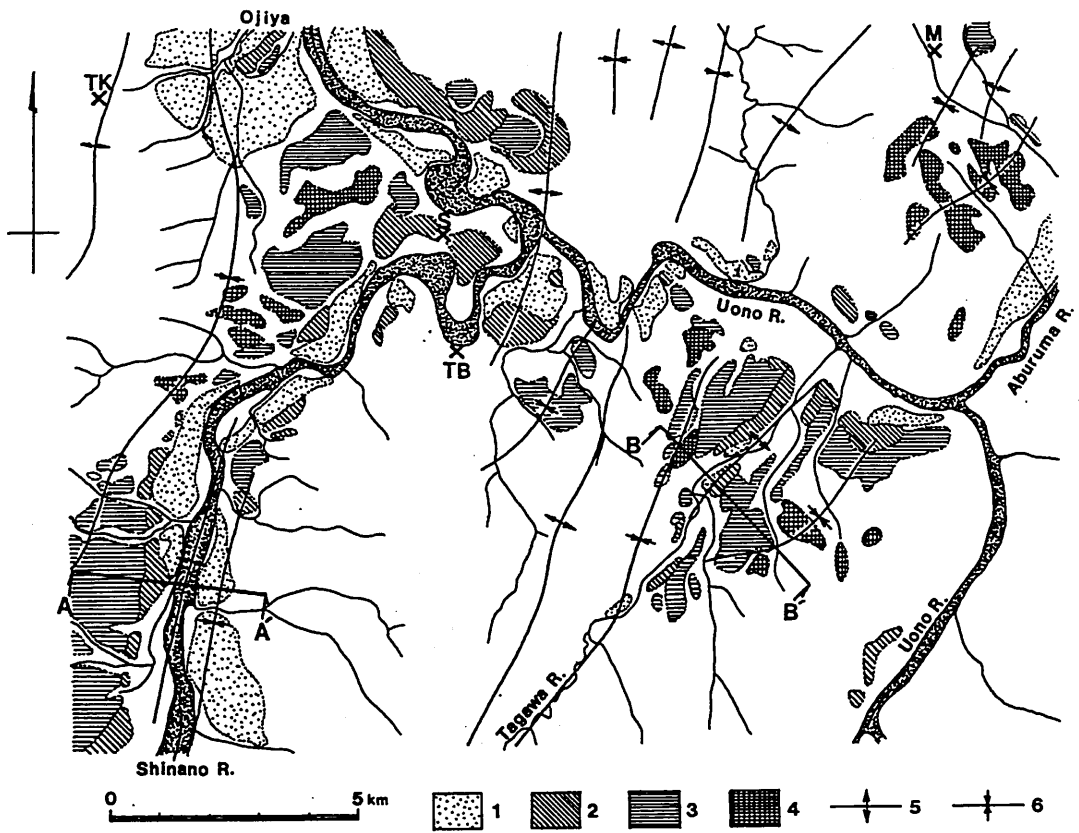
- ・谷の左岸寄り斜面脚部に現河床とほぼ平行に走る旧河床があり、その直下の地層には上方に向かって3～5mの高さで緩やかな膨らみが生じている。なお、兩岸稜線部と谷底の比高はおおよそ100mであり、その変形率は3～5%ということになる。
- ・谷底部周辺に分布する泥岩層の弾性係数は150～400MPa程度の範囲にある。
- ・地層の走向がほぼ谷の横断方向に一致しているために、断面図上では地層は見かけ上ほぼ水平であるようにみえるが、実際は下流方向に15°前後の傾斜で緩く傾いている。したがって、この旧河床下の背斜状の膨らみはほぼ地層の最大傾斜方向に形成されている。
- ・背斜状の膨らみ部分の周辺には層理面に平行した数本のflexural slipが生じている。
- ・背斜状の膨らみ部分の両翼部には上下流方向（背斜軸方向）に走る数本のごく小規模な断層がみられる。これらの断層はいずれも鉛直に近いものであり、兩岸とも谷側が上昇し山側が下がる形となっており、谷の中央部で地壘様の構造となっている。

3.2 事例2

図3は、現地踏査結果と地質図幅「小千谷」（柳沢ほか、1986）を参考に、新潟県小千谷市南方地域の地質構造と地形概要を示したものである。この地域には2つの"valley anticline"が見られる。一つは図左側の信濃川河床下を走るものであり、他の一つは中央右よりの田河川に沿って走るものである。前者の場合は小千谷向斜と称される大規模な向斜構造の中央付近にあることになる。背斜軸の位置は信濃川の河床下にあるために直接確認することはできないが、翼部に当たる兩岸に沿ってところどころ露頭がある。これらの露頭の地層は10°前後で緩やかな傾斜をなしているが、明らかに左右岸で反対方向に傾斜しており、背斜構造の確認は比較的容易である。田河川周辺の褶曲構造は、翼部を除くと地層の傾斜がさらに緩く、褶曲軸の位置が判然としないような状況であるが、大きくは向斜構造となっている。しかしながら、この場合も注意深く観察するとほぼ現在の田河川の流路に沿ってわずかな背斜状の膨らみが確認できる。いずれの場合も大規模な向斜構造の中央部付近にある小褶曲であり、構造地質学の観点からは、複向斜構造と解釈されてきたものである。

3.3 事例3

小千谷市南東部の渓流域においては、図4に示したような半ドーム状の構造がみられる。この地域周辺には、信濃川によって形成された広大な段丘が発達しており、半ドーム状構造の露頭はその段丘を開析する溪流の下流部左岸側に形成された小規模な段丘面下にある。この小段丘面と現溪床との比高はおおよそ20m程度である。ここでは、たまたま開削工事中であり、その切り土法面が半ドーム状構造を横断する形で掘削されていた。地層は新第三紀鮮新世の堆積岩類であり、泥岩および泥岩砂岩互層からなっている。この位置は、信濃川と魚野川の合流点付近を南北方向に走る東山背斜（図3参照）の西翼にあつて同斜構造をなしており、地層の走向傾斜は概ねNS30°Wでほとんど一定している。しかし、この段丘面下には明らかな膨らみが生じており、その位置はちょうど段丘の中央付近に位置している。この段丘面には基盤の構造に調和するような変形は認められないことから、この膨らみはは段丘形成期かそれ以前に形成されたものであることになる。これはvalley anticlineではないが、その変種とみることができよう。



1:沖積段丘群 2:低位段丘群 3:中位段丘群(下位) 4:中位段丘群(上位) 5:背斜軸 6:向斜軸

図3 新潟県小千谷市南方地域の褶曲構造および段丘分布 (柳沢ほか(1986)を参考にした)

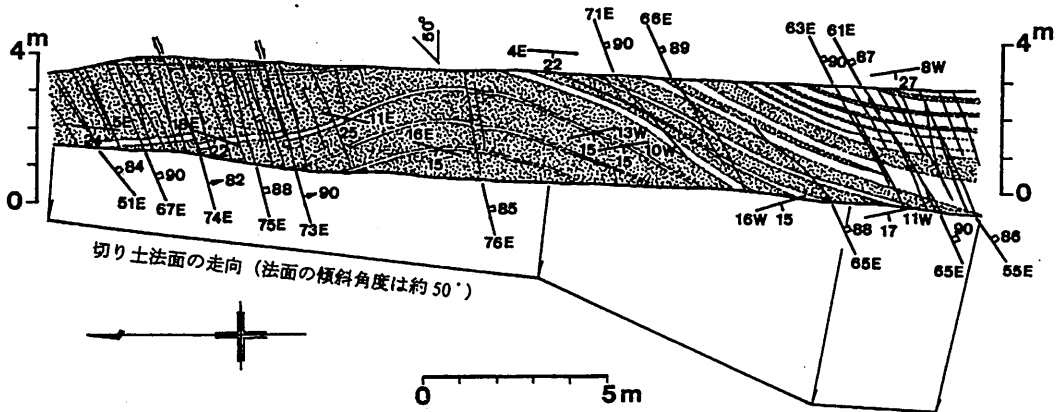


図4 小千谷市南東部小溪流域で確認された半ドーム状構造

3.4 事例4

秋田県成瀬川上流域にも事例2と同様な複向斜構造があり、従来の解釈では地殻変動によるものとされてきた。しかし、小褶曲軸のうち向斜軸部は緩やかなカーブを描いているのに対して、背斜軸は軸部が急激に折れ曲がったり、二重構造となっているところもある(図5のスケッチおよび写真-1, 写真-2参照)。これらの現象などから、野崎・三浦(1993)は、このような構造は地表付近の封圧の低い状態での座屈現象によるものであり、初生的な岩盤地すべりによって形成されたものと解釈している。しかし、図5, 図6に示したように、明瞭な背斜軸は河床付近に偏在する傾向があり、これも形態上は valley anticline と呼べるものの一つである。

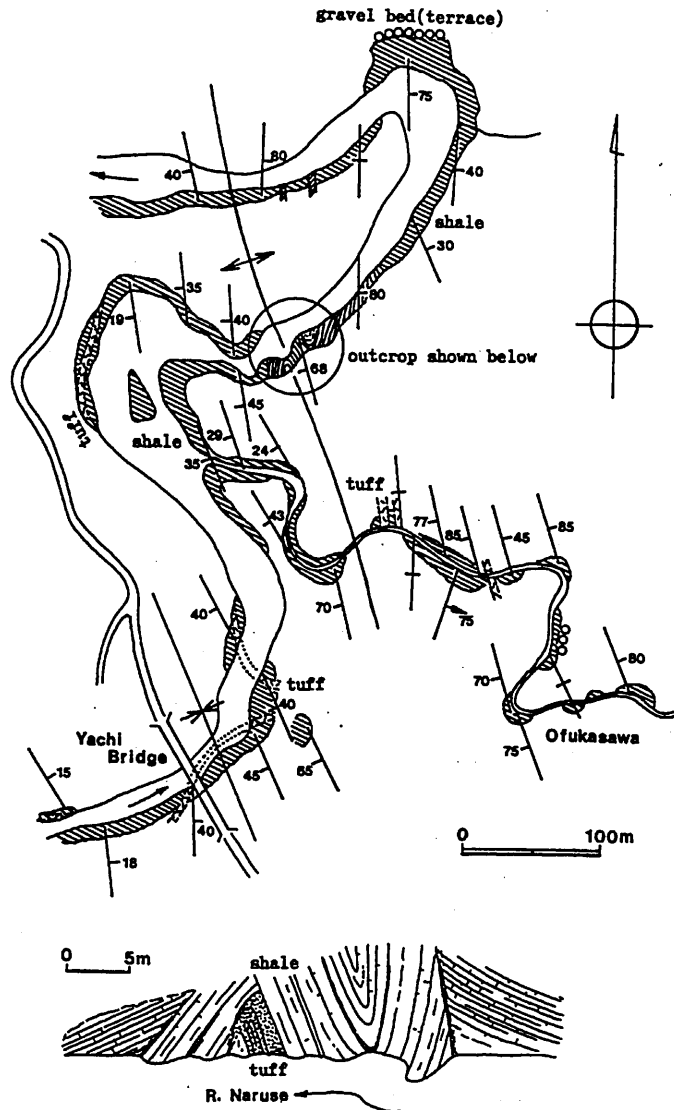


図5 秋田県成瀬川谷地橋付近のルートマップ

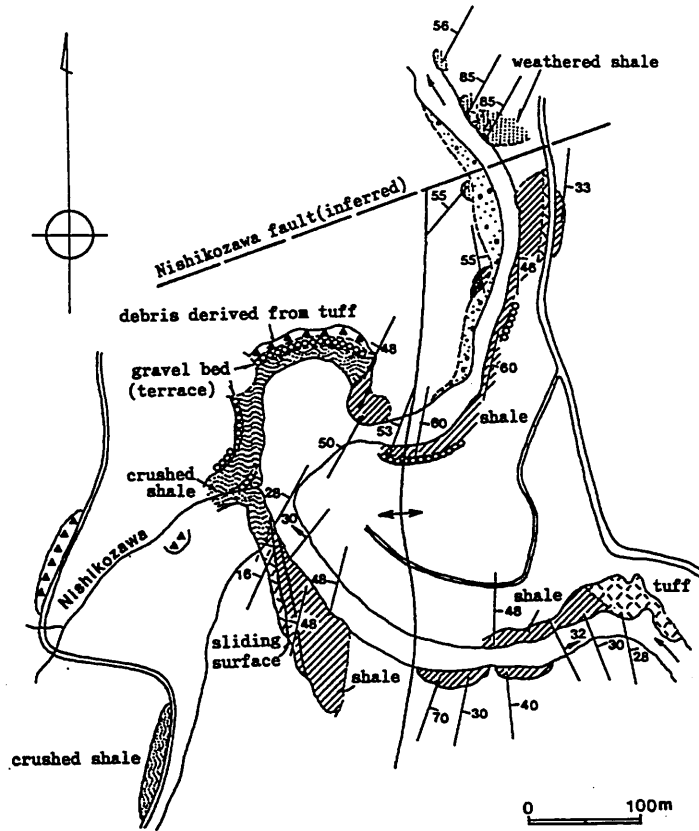


図6 秋田県成瀬川西小沢合流点周辺のルートマップ

4. 考察

事例1, 2, 3は、いずれも新潟県魚沼地域にある。この地域は、古くから地殻変動に伴う段丘面の傾動が指摘されている箇所である。また、その傾動現象は基盤の褶曲構造と調和的であり、完新世の段丘にも及んでいることが確認されている(飯川・堀川:1985)。このような段丘の発達は、隆起運動の結果であり、それに伴う激しい侵食作用が継続していることを示すものである。このような状況から、筆者はこの地域における valley anticline は、侵食作用に伴う土被り応力および残留構造構応力の解放によって生ずる地表付近の現象であり、一種の valley bulging の可能性が高いと考えている(Nozaki:1996)。

事例1については、現段階において詳細な資料は提示できないが、確認された諸現象はカナダなどの事例に酷似しており、valley bulging としての条件を満たしているように思われる。

事例2の2つの valley anticline については、今のところたまたま現河床下に背斜軸が走っているという状況以上の地質現象は確認していない。しかし、信濃川河床に背斜構造の認められる位置は、それより上流部および下流部よりも両岸の段丘の分布が狭く限られていることから、この周辺では

河道の位置があまり左右に移動しなかったことを示すものと思われる。すなわち、この付近ではかなり長期にわたる地質時代において概ね同じ位置で下刻作用が継続してきたものと考えられる。また、田河川の場合は段丘の分布状況から、かつては河道の位置が多少左右に振れていたが、しだいに現在の位置に落ち着いてきたことを物語っている。筆者はこのような侵食過程が、valley anticlineを形成した要因であり、応力開放に伴う valley bulging ではないかと考えている。いずれの場合も河床を横断するような断面の露頭が少なく、地表踏査によってさらに詳細な構造を把握するのは困難であるが、将来このような観点でその成因について検討されることを期待したい。

事例3の半ドーム状構造は、造構運動による褶曲作用に伴ったものと考え、その部分のみが周辺の一般的な応力配置とは異なっていたことになる。しかし、基盤の地層自体は周辺の地層と何ら変わりのない物理的性状を有する堆積岩類であり、地層自体には異質な応力配置を促すような要因は認められない。また、先新第三紀の基盤岩類が浅くなっているような場所であることも考えがたい。したがって、このような局所的な地層の膨らみは、地表面の形状に左右されたものであり、侵食作用に伴う新しい谷の形成が局所的に異なった応力配置を生じさせる原因となったのではないかと考えられる。すなわち、筆者は事例1の場合同様に、谷の急速な侵食に伴う地層のリバウンド現象に加え、あるいはそれに誘発される形で、残留造構応力がそこに集中した結果ではないかと考えている。

事例4についても現時点においては、valley bulging に結びつくような直接的な地質学的証拠はない。しかし、このような折れ曲がりや変形の著しい背斜軸は、河床付近においてのみ観察されている。また、この地域における成瀬川の河床部に見られる褶曲構造は背斜軸部が異常に変形して、断層を伴った2重構造となったり、シェブロン状に折れ曲がったりしているのに対して、向斜部は緩やかで穏やかな変形である。さらに、極端に非対称な褶曲（撓曲）などのみられるところもある。このような褶曲の仕方は、Terzaghi(1950)によって報告されたクリープ変形様式（皺状の複褶曲）によく似た形となっており、必ずしも地すべり現象としてではなく、それに先立つ valley bulging 現象によるものである可能性もある。

5. おわりに

ここに紹介したいずれのケースに関しても、谷の侵食と背斜構造の関係が偶然の一致と見なすには、あまりにも調和的である。これらの背斜構造（あるいはドーム状構造）は、軸部周辺が激しい変形によって劣化し、侵食作用を受けやすい条件を与えていると言える程の状態ではない。すなわち、背斜構造の形成が谷の形成に先行していたとすると極めて偶然のできごとであり、比較的狭いエリアの中から複数の事例が確認されるのは不自然である。また、新潟県の魚沼地方は、段丘面の変形状況などから明らかな活褶曲帯であり、侵食作用に伴う差別的な除荷作用が、基盤をなす地層の地表面付近での応力配置に影響を与え、局所的な地層の変形を促したとしても何ら不自然なことではないであろう。これらの他にもこれに類似した構造が多数存在する可能性は大きく、今後その成因を valley bulging との関係において検討してみる価値は大きいものと考えられる。

引用文献

- Hill, H.P. (1949): The Ladybower Reservoir. *Journal of the Institution of Water Engineers*, 3, pp.414-433.
- Hollingsworth, S.E., Taylor, J.H. and Kellaway, G.A. (1944): Large-Scale Superficial Structures in the Northampton Ironstone Field, *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, vol.C, pp.1-44.
- Hutchinson, J.N. (1991): Periglacial and slope processes, *Quaternary Engineering Geology*, Geological Society, Engineering Geology, Special Publication No.7, pp.283-331.
- 飯川健勝・堀川秀夫(1985):新潟県小千谷市周辺の沖積段丘面の変形について. *地球科学*, Vol.39, No.4, pp.54-56.
- Kellaway, G.A. (1972): Development of non-diastrorphic Pleistocene structures in relation to climate and physical relief in Britain. 24th International Geological Congress, Section 12, 136-146.
- Lapworth, H. (1911): The geology of dam trenches. *Transactions of the Institution of Water Engineers*, 16, pp.25-66.
- Matheson, D.S. and Thomson, S., (1973): Geologic implication of valley rebound. *Can. J. Earth Sci.*, 10, pp.961-978
- Nozaki, T. (1996): Four rockslides in an active tectonic region, Central Japan, *Proceedings of the 7th international symposium on landslides*, pp.1001-1006.
- 野崎保・三浦光生(1993):秋田県谷地地すべり周辺の地質構造と初生地すべりの発生機構, *地球科学*, Vol.47, No.1, pp.17-30.
- Pariseau, W.G. and Voight, B. (1979): Basic principles and perspectives in the realm of civil and mining, *Rockslides and avalanches 2* (ed. VOIGHT, B.), pp.68-76
- Parks, C.D. (1991): A review of the mechanisms of cambering and valley bulging, *Quaternary Engineering Geology*, Geological Society, Engineering Geology, Special Publication No.7, pp.373-380.
- Radbruch-Hall, D.H. (1978): Gravitational creep of rock masses on slopes, *Rockslides and avalanches 1* (ed. Voight, B.), pp.611-614.
- Serafim, J.L., (1964): Rock mechanics considerations in the design of concrete dams. In: W.R. Judd (Editor), *State of Stress in the Earth's Crust*. American Elsevier, New York, N.Y., pp.611-645.
- Terzaghi, K. (1950): Mechanism of Landslides, *Engineering Geology*, Berkeley Volume, Geological Society of America, pp.83-123.
- Varnes, D.J. (1978): Slope Movement Types and Processes, *Landslides, Analysis and Control*, pp.11-33.
- 柳沢幸夫・小林巖雄・竹内圭史・立石雅昭・茅原一也・加藤碩一(1986):小千谷地域の地質, *地域地質研究報告* (5万分の1図幅), 177p.



写真-1 秋田県成瀬川上流域河床部にみられる複雑な褶曲構造 (図5のスケッチ露頭)

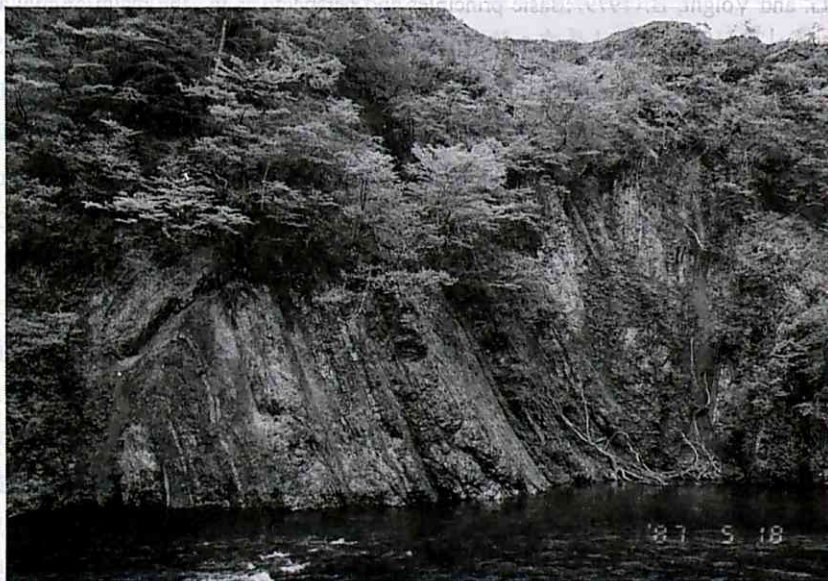


写真-2 同上、シェブロン状背斜構造 (図6の背斜軸露頭)