

◆ 報 文 ◆

新潟地域およびブザウサブカルパチアン地域 (ルーマニア) の
地すべり地の分布についての比較研究Dr. Mihaela Constantin*
(日本語訳: 藤澤和範)

1. はじめに

ルーマニアと日本は、自然災害の中で地すべりによる脅威が重要な位置を占める点で特筆される。地すべりは個人の安心安全の確保に直結するだけでなく、地すべりによる被害は社会活動にも深刻な影響を及ぼす。

日本においては、古来より斜面保全の試みが実施されてきた。斜面保全の事業は江戸時代より始まっており、新潟の土堰堤や河川の付け替え工事等がある。これらの工事は明治時代へも引き継がれ、政府によって地すべり問題の解決の重要性が認識されている。さらに明治時代には、河川法、森林法、砂防法が制定され、地すべり防止に関する事業は砂防事業の中で実施されることとなった。1900年代以降、地すべり滑動を軽減させるための事業が大阪、長野、新潟の地すべり地で実施されたが、その後も大規模な地すべり災害が頻発したことにより1958年に地すべり等防止法が制定された。この法律の実施により、地すべりの調査手法、地すべりを発生させる要因とその効果に関する研究が進展した。

ルーマニアにおいては、斜面におけるマスマーブメントに関する研究は若干遅れ、第一次世界大戦前後から開始された。地理研究者により1956年から1968年に実施された一連の現地実験はきわめて重要な研究であった。この研究では、農業に適さない荒廃した傾斜地を地すべりや侵食によって地形を変化させて農業に適した土地への改変が試みられた。1990年以降、ルーマニアでの地すべり調査はIDNDR (国際防災の10年)、DOMORIS (国際山地災害プログラム)、ISDR (国際防災戦略) プログラムに位置づけられ、現在では地すべり危険区域図の作成が始められている。

地すべり斜面の安定については、複数の縮尺の地形図の判読によって求められる地すべり履歴から、技術者の経験に基づく評価によって今後の中・長期の地すべりを予測するものである (これには、地すべりのリスク評価も含まれる)。斜面

の安定性を安全率によって評価しようとする決定的な手法は、土木技術者や土木地質技術者によって行われている。特に1965年から1989年の間は国土開発の重要性が認識され、地質学者と土木技術者による斜面安定の共同研究が行われた。一方、技術者の経験に依らないGISを用いた地すべり危険度マップの作成は統計解析による地すべり危険区域設定の新たな研究分野になっている。そこで、中越地震時に地すべりの発生が集中してみられた新潟地域に焦点を当ててルーマニアの地すべりとの比較研究を行う。

2. 地域の概要

日本とルーマニア両国の主たる地すべりの誘因は豪雨と地震である。これらの地すべりの誘因に関しては、斜面の標高別分布と斜面を構成する地質が特に重要である。

2.1 斜面の標高別分布形状と構成する地質

日本は、土地の起伏と海洋プレートの沈み込みにより12の地質構造に分割される。約1万1千km²の新潟地域は北西本州内帯に属する。日本の代表的な土木地質分類によると新潟地域は主に第三紀の堆積岩で覆われている。土地の起伏を見ると、沿岸の平野は277m、東頸城丘陵は600~800m、魚沼丘陵は800~900m、越後山地は900m以上の標高からなる。山地における水系密度は6~8km/km²であり、下流ほどその値は小さくなる。

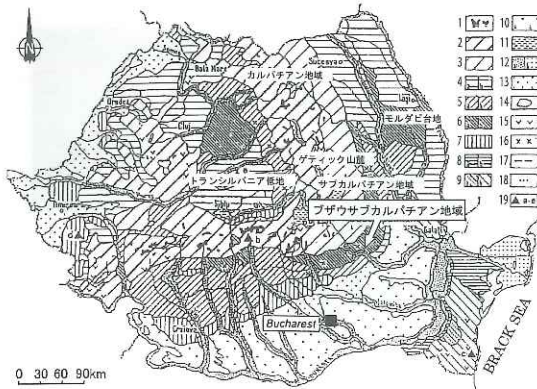
一方、ルーマニアの斜面の標高別分布形状は地すべりの分布に支配されている。

カルパチアン地域は、中生代変成岩、古第三紀フリッシュ型堆積物^{※1}、新第三紀火山岩を主として形成されている。カルパチアン地域に隣接するサブカルパチアン地域は、ゲティック山麓地帯、トランシルバニア低地、モルダビ台地から成る550kmの延長を有する丘陵地帯である (Balteanu et.al, 1994)。

ブザウサブカルパチアン地域は、サブカルパチアン地域のうち2,760km²の面積を占める三日月形状の地域であり (Balteanu, 1983)、硬岩の分布地

※1 フリッシュ型堆積物: 砂岩・頁岩互層からなる地層。岩相変化に乏しい。

※2 モラッセ型堆積物: 礫岩・砂岩からなる地層。岩相変化に富む。



山地：1.山津波、雨溝浸食 2.野溪、岩屑（落下、転倒）3.野溪、地すべり、土石流
丘陵地：4.マスムーメントを伴う面状侵食とガリー侵食：a)顕著、b)普通 5.マスムー
メントを伴うガリー侵食と面状侵食：a)顕著、b)普通 6.面状侵食とガリー侵食を伴
うマスムーメント：a)顕著、b)普通 7.谷斜面の弱い面状侵食
平地地：8.パイピングを伴う面状侵食とガリー侵食：a)顕著、b)普通 9.面状侵食とパ
イピング：a)顕著、b)普通 10. レスのパイピング 11. 麓尾堆積物、沖積堆積物
12. a)沖積堆積物、b)三角洲の生物増化 13. 大洪水による沖積堆積物 14. 風成堆積物 15.
カルストの溶解 16. 塩溶解 17. 削磨作用 18. 海浜堆積物 19. 地震発生地域：a) Vrancea、
b) Fagaras、c) Pontic、d) Danubian and Banatic、e) Tarnave

図-1 ルーマニアの地形分類図 (Balteanu et al, 1994) と
ブザウサブカルパチアン地域の位置

域は高標高の丘陵地であり、軟岩の分布域には低地が広がり、この起伏が繰り返されている (図-1)。土地の起伏は地質構造に調和的であり、背斜軸に丘陵地域が、向斜軸に低地が分布する。この起伏は標高300~800mの間にあり、最高点が標高819m、最低点が標高175mである。サブカルパチアン地域は新第三紀モラッセ型堆積物^{*2}とルーマニア砂礫層から成り、それがレス堆積物^{*3}により不均一に被覆されている。また、北西部には古第三紀フリッシュ型堆積物も認められる。これらの地質帯によって水系密度は異なる値を示し、広い面積を占める台地上部で最低値を示し、最大値は砂礫層と古第三紀フリッシュ型堆積物から成る急斜面で3~4km/km²である。

2.2 主な地すべりの誘因

2.2.1 気候

新潟の年平均気温は13.2℃、年平均降水量は2,313mmである。新潟地域では2004年7月13日には24時間で400mmを上回る降雨があり、東頸城地方および魚沼丘陵において1000箇所以上の地すべり・崩壊が発生した (Hiromitsu, Y. et al., 2004)。新潟地域は降雪・積雪地域でもあり、日本海上空を北西風に乗って移動する寒気団が大量の湿気を吸収し、標高が上がるにしたがって凝結されて雪に変化する。寒暖の周期による春の雪解けも地すべり発生誘因の一つである。

ブザウサブカルパチアン地域の年平均気温は約7.5℃、年平均降水量は約550mmであるが夏季の豪雨時期に集中する。カルパチアン地域の南向き

^{*3} レス堆積物：主にシルトからなる均質で無層理の風成の陸上堆積物。

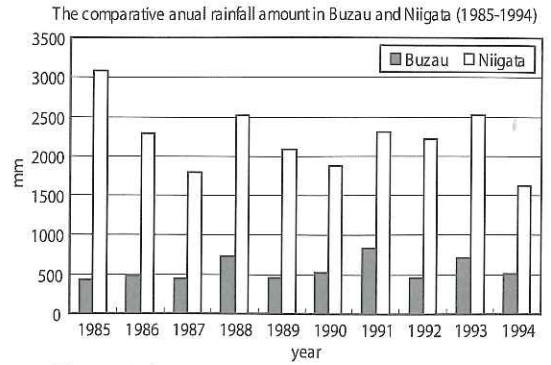


図-2 ブザウサブカルパチアン地域と新潟の年間降水量の比較

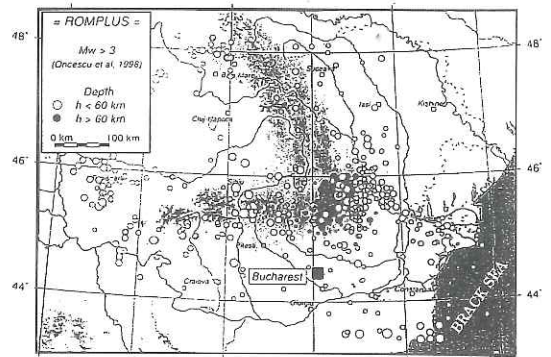


図-3 ROMPLUSカタログによる2525個の震央の位置 (Wenzel et al, 1997)

斜面および南東向き斜面では、南方からの暖かく湿気を含んだ地中海サイクロンにより多量の降水がもたらされる。地中海サイクロンによってもたらされる降雨量は、1週間あるいは1日で平均月間降水量の2~5倍に達し、1975年7月2日には日降水量が177.8mmに達した (Bogdan, 1999)。

ブザウサブカルパチアン地域と比較すれば、新潟地域は気温で約6.5℃高く、降水量はおよそ4倍多いことがわかる (図-2)。

2.2.2 地震

日本とルーマニア両国は、地震の発生頻度とその規模が異なるものの活発な地震地帯である。日本は、世界でも有数の地震活動が活発な地域である。日本の活火山の数は世界のおよそ1割を占めており、震源の深い地震についてはクリルーカムチャッカ、日本海溝、伊豆小笠原海溝、南海から琉球海溝に至る主たる海洋プレートの沈み込みが関係している。

ブザウサブカルパチアン地域はバレンシア地震帯に属し、ヨーロッパで最も直下型地震が頻発する地域と考えられている。ルーマニアで発生する地震の大部分はこの地震帯を震源とする直下型地

震である(図-3)。最近の規模の大きい地震としては、1977年にマグニチュード7.2の地震があり、1,570名の死者と33,000戸の建物が倒壊した。バレンシア地震帯は、1世紀の間に地震の活動期が3回見られることと、強い地震波が全方位に伝播する特徴を有する(Constantinescu, 1978)。

2.2.3 地殻の隆起速度

地殻の隆起速度は、地すべりの発達を考慮する上で重要である。第四紀における日本の地殻の上昇量は1,500mに達する(Tsunaki et.al., 2002)。モザイク状に破壊された地殻は、年間数mmから数十mmの上昇と沈降速度を有し、複雑な運動形態を示す。日本と比較すると、ルーマニアは一定の標高帯を形成する地域が集中して分布しており、土地の隆起量はサブカルパチアン地域よりもカルパチアン地域が若干大きく、その隆起速度はブザウサブカルパチアン地域では年間3mmで、ブザウカルパチアン地域では年間5mmである(Zugravescu et.al., 1999)。この両地域では、標高帯の形成モデルを作成する場合や広大な地域の侵食・削剥を考える上で地すべりは重要な役割を占める。

3. ルーマニアと日本の地すべりの特徴

両国では、地すべりの運動形態を転倒、すべり、伸張、落下、流動の5種類、構成材料を岩、岩屑、土の3種類に分けるバーンズ(1978)の分類法が用いられている。

日本では長い間、斜面変動は地すべりと崩壊の2つに分類されてきた。地すべりは長期間にわたるゆっくりとした移動が繰り返し生じると考えられており、一方、崩壊は運動の継続時間が短く、その移動速度も大きい。

日本では地すべりの移動速度を基準として分類されているが、ルーマニアではすべり面の深さと移動量によって地すべりの分類が行われている。ブザウサブカルパチアン地域では浅層地すべりが最も広範に見られる現象である(写真-1)。

浅層地すべりは、牧草地、耕作地、果樹園、村落の境界として利用されている斜面、事例は少ないものの造林された斜面にも影響を及ぼす。この地すべりは、厚さ1.5mまでの風化堆積物の表層のすべりであり、その移動土塊量は $10^1 \sim 10^4 m^3$ である。大部分の浅層地すべりは、局所的な移動

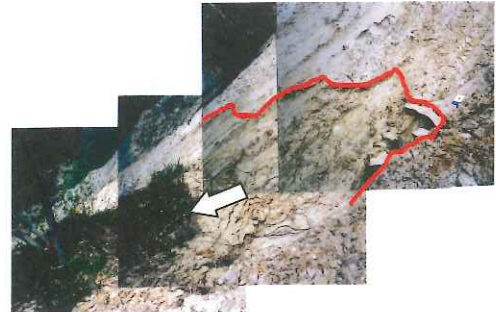


写真-1 ブザウサブカルパチアン地域の浅層地すべり (コンスタンチン2004)



写真-2 ブザウサブカルパチアン地域の深層地すべり (コンスタンチン2004)

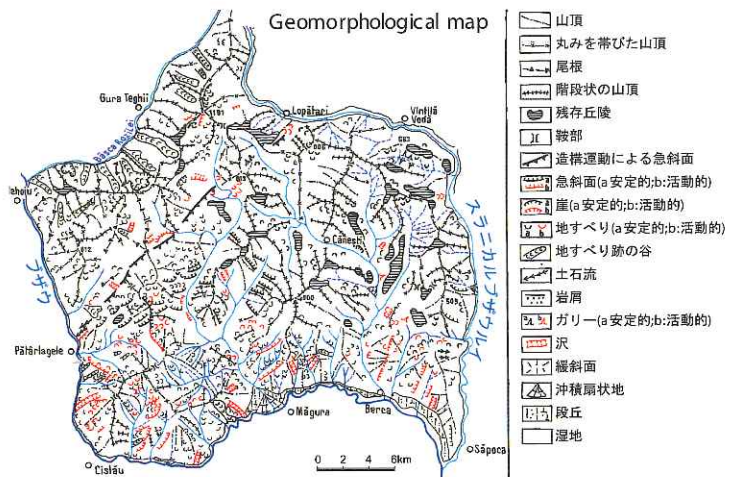


図-4 ブザウ地域とスラニカルブザルイ地域に挟まれたブザウサブカルパチアン地域の地形分類図(地理研究所1984、コンスタンチン2003修正)

を伴った並進運動である。この地すべりが活発に運動する場合には、大量の土砂を河川に供給することとなり、これらの土砂は浮遊砂等として遠方まで運搬される。

深層地すべりは、2~10mの厚さを有し、 $10^4 m^3$ 以上の土塊量を有するものである(写真-2)。こ

れに分類される地すべりの大部分は、特定されており、斜面の上部か下部のいずれかに位置する。深層地すべりは、斜面下部の侵食を伴うような豪雨、長雨、マグニチュード7以上の地震、斜面の安定を乱すような行為によって運動を開始する。

4. 地すべり分布図とその危険度評価

新潟地域とブザウサブカルパチアン地域は、地すべりの頻発地域として知られている。大部分の地すべりは、地すべり地形を呈する斜面で発生する。

両地域では、それぞれ異なった手法を用いて様々な縮尺(20万分の1から1万分の1)の地すべり分布図が作成されている。新潟地域では地すべり地の分布を示しているのに対し、ブザウサブカルパチアン地域では地形要素を併せて表示した地すべり分布図となっている(図-4)。

地すべり分布図は、その土地が地すべりを起こす可能性についての情報を提供する。この点において、経験に基づく取り扱い、統計的な取り扱い、決定論的な取り扱いによるすべての情報は地すべりの発生場所の予測に重要である(Cararra, 1995; Guzetti, 1999; Sorisso-Valvlo, 2002; Van Westen, 2004)。さらに発生の確からしさを求めるためには、記録に残っていない歴史上の地すべりデータと地すべりデータベースの構築を考慮することが有効である(Glade, 2000)。

ルーマニアでは、地すべりの被害予測は経験に基づく取り扱いと統計的な取り扱いが優先されるのに対して、日本では地域研究としての取り扱いから個々の斜面の安定解析に至るすべての手法が導入されている。これは、日本では決定論的な研究手法を重視しているためである。

ブザウ地域とスラニカルブザウルイ地域に挟まれた地域の調査から、けば線を用いて表示した地形危険度地図が作成されている(Baoteanu et al., 1994; Sandu, 1994; Constantin, 1997, 1999)。我々の考えでは、この手法は中期(最大限10年程度)の地域の安定性と危険地域を示すのみであって、定性的な評価を越えるものではない。現在では、地すべり危険地域の子測にあたって世界的に取り組まれている定量的な解析がこの地域においても適用されている(Constantin, 2003)。

4.1 新潟地域とブザウサブカルパチアン地域の地すべり分布

新潟地域とブザウサブカルパチアン地域は広いため、ブザウサブカルパチアン地域と新潟丘陵地域から代表する2つの地域、芋川流域とブザウ地域とスラニカルブザウルイ地域に挟まれたサブカルパチアン地域を選定することとした。

4.1.1 芋川流域

芋川流域は、新潟の丘陵地域に位置する。最高標高は猿殻岳の679mであり、最低標高は魚野川との合流点の68mである。比高差は最大で611mで、水系密度は5~6km/km²である。谷と尾根の比高差は破碎の程度の反映であり、その値は150~200mであり、流域の北部では200m以上の値を示す。

地質は、砂岩、砂質泥岩から成る。丘陵地帯は、背斜・向斜の褶曲構造に関係しており、これらは荒屋層群、川口層群、和奈津層群、魚沼層群と調和的な褶曲軸の方向に一致する。この地域に多大の被害をもたらした2004年10月23日の地震後、地すべり分布図が作成された。移動土塊の厚さに基づいて、移動土塊は浅層すべりと深層すべりの2つに分類された(図-5、写真-3、4)。

芋川流域の偏った地すべり地の分布は基盤を構成する岩石と斜面勾配に関係していることは明らかである。しかし、地すべりの発生は砂岩が主体である和南津層群に集中してみられ、川口層群や荒谷層群によって代表される泥岩地域には地すべりの発生頻度は小さくなっている。日本地すべり学会と日本応用地質学会の合同調査団の新潟県中越地震の緊急報告書においても同様の報告がなされている。一般的には、深層地すべりは地質構造に調和的であり、滑落崖は背斜軸に位置する。斜面勾配に限って言えば、芋川の支川には30~40°の急斜面が広く分布し、その次に20~30°の斜面が分布していることが特徴としてあげられる。

多くの滑落崖は30~45°の斜面の尾根部に見られる。これは、尾根部では地盤の動きが増幅され斜面の麓では動きが抑制される(Sepulveda, Petley et al., 2004)特徴を持つ、いわゆる地震動の地形増幅効果によって生じたものと考えられる。

4.1.2 ブザウ地域とスラニカルブザウルイ地域の間のサブカルパチアン地域

ブザウサブカルパチアン地域における多数の地すべりは、主に個別の岩石(粘土、泥灰土と砂岩)と様々な勾配をもつ下降斜面によるものである。景観は、谷や様々な規模と形状の低地によって切り離された丘陵群として現れ、最高標高は819mで、最低標高はブザウ川とスラニック川の合流点で175mであり、比高差は644mである。水系密度は平均で4.5km/km²である。

地質は、新第三紀モラッセ型堆積物と更新世および完新世の堆積物で代表される。モラッセ型堆積物は、不均一に堆積した新第三紀堆積物から成り、更新世の下層は、第四紀の基準面であり粘土を伴う砂、礫、巨礫の混在層として特徴付けられ

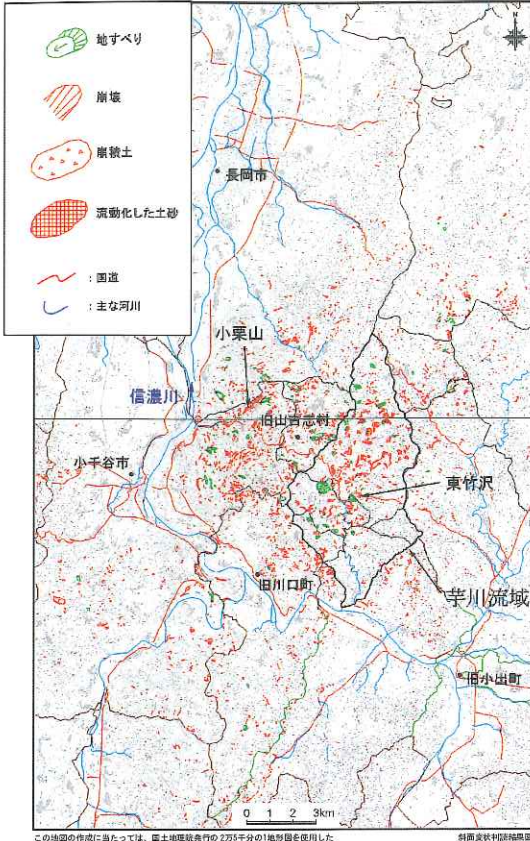


図-5 芋川流域の地すべり分布図

る。地すべりは、主に $6^{\circ} \sim 12^{\circ}$ の下降傾斜した泥灰土粘土層で発生する。 $12^{\circ} \sim 24^{\circ}$ の斜面は広く分布し、泥灰土、粘土、砂岩の互層で構成される。 $24^{\circ} \sim 36^{\circ}$ の斜面は、サブカルパチアン地域に隣接する北部地域に見られ、フリッシュ型堆積物から成る。 $36^{\circ} \sim 45^{\circ}$ の傾斜は、激しい土壤侵食とガリー侵食が進行するケスタ地域と同様に急傾斜斜面、頭部滑落崖の特徴を有している。 45° 以上の斜面は、地すべりの頭部滑落崖、急峻な渓谷をなす斜面と砂礫層や砂岩が侵食された壁面に見ることが出来る。

この地域の地すべり分布の研究 (Constantin, 2003) によると、半数以上の地すべりは $6 \sim 12^{\circ}$ および $12 \sim 24^{\circ}$ の傾斜勾配を持つ斜面で発生している。岩石学からは、多くの地すべりは粘土と泥灰土の互層あるいは泥灰土と砂の互層で発生している。

5. まとめ

この論文は、日本とルーマニアの地すべりに係る研究の経緯と最近の話題について概要を紹介し



写真-3 芋川流域の深層地すべり (東竹沢地すべり)



写真-4 斜面に発生した多数の浅層地すべり (山古志村)

たものである。日本では斜面安定に関する研究には長い歴史を有しており、ルーマニアでは主に第一次世界大戦前後から研究が始まった。経験的、統計的、決定論的な手法を用いた研究が両国で行われてきた。ルーマニアではこれらの研究の成果として、地域研究の中で地すべりの危険度評価や地図づくりが頻繁に行われている。

比較研究として二つの事例、標高の高い丘陵で強く破碎された新潟地域およびサブカルパチアン地域が、地すべりの発生要因や地すべり発生時の状況および地すべりタイプの組み合わせを分類するために選定された。本論ではこれまでに述べたように、二つの事例研究から地すべりの発生要因と地すべり地の分布に関する広範な概念を提供した。二つの事例研究から地すべり地の分布を比較することにより、以下のことが分かった。

- (1) ブザウサブカルパチアン地域では地すべり地の多くは斜面傾斜が $6 \sim 12^{\circ}$ で粘土と泥灰土から成る斜面にあるのに対し、芋川流域では地すべり地の多くは斜面勾配が $30 \sim 45^{\circ}$ でシルト質砂岩～砂岩から成る斜面で発生している。
- (2) 地すべりの発生した斜面の地質や斜面勾配の

素因および気象や地震の誘因はともに類似しているが、新潟の事例では地震の発生頻度とその規模が高いことが地すべり現象にその形状や規模、そしてもちろん被害の多様性をもたらした。

- (3) ルーマニアでは地すべりの深さと移動土塊の量によって分類することが可能であるのに対し、日本ではすべり面深さ、移動土塊量、移動速度のいずれも大きな幅を有する地すべりを分類することは非常に困難な作業である。
- (4) ルーマニアのサブカルパチアン地域（丘陵）と新潟の丘陵地域の二つの地域の地すべり地の分布状況は、ともに地すべり地の分布は地域の斜面勾配と地質に支配されている。

6. おわりに

本研究は、地すべりの危険地域の把握とその評価にあたっては地域研究の重要性を強調することも意図している。要約すると、ルーマニアのサブカルパチアン地域（丘陵）に見られる地すべりと新潟の強く破碎された高標高の丘陵地域に見られる地すべりの比較研究から、この二つの地域の地すべり地の分布状況は、いずれの事例とも斜面勾配と地質の関係を示していると言え、更に、地すべりの発生の状況とその分布に関する知識は、土地の利用計画と国土開発計画に重要な地すべり災害予測図の作成に当たっても基本となるものである。

参考文献

- Balteanu, D. (1983), Experimentul de teren in geomorfologie, Ed. Academiei Romane, Bucuresti.
- Balteanu, D. et al (1994), Geomorphological hazards in the Buzau Subcarpathians, Ed. Inst de Geografie, Bucuresti.
- Bogdan, O. (1999), Riscurile climatice din Romania, Academia Romana, tipar Sega International, 280 p.
- Cararra, A. (1995), GIS technology in mapping landslide hazard, in GIS in Assessing Natural Hazards, Kluwer Academic Publishers.
- Constantin, M. (1997), Procesele geomorfologice in Subcarpatii de la Curbura, SCG, Ed. Academiei Romane, Bucuresti
- Constantin, M. (1999), Some considerations concerning to geomorphological hazards in Panatau region (Buzau Subcarpathians), Transactions, Japanese Geomorphological Union, 20-4, Tokyo, Japan
- Constantin, M. (2001), Landslide control-a Japanese approach, Ed. by Institute of Geography, Bucuresti, 64p. (in English)
- Constantin, M. (2003), Dinamica actuala a versantilor in Subcarpatii dintre Buzau si Slanicul Buzaului, Institutul de Geografie, 172 p., manuscript.
- Constantinescu, L. (1978), An extreme Romanian earthquake and its wider geomorphological setting, RRGGG- Geogr., 20
- Glade, T. (2000), Landslide hazard assessment and historical landslide data-an inseparable couple?, The use of historical data in natural hazards assessment, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Guzetti, A. (1999), Landslide hazard evaluation : a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, Geomorphology 37(1-2).
- Hiromitsu, Y. et al., 2004, Heavy rainfall induced landslides on July 13, 2004, in Niigata Region, Japan, <http://japan.landslide-soc.org/2004niigata/20040713Landslides.pdf>
- Sorisso-Valvo, M. (2002), Landslides: from inventory to risk, Landslides, Balkema, Rotterdam
- Van Westen, C.J. (2004), Geo-information tools for landslide risk assessment: an overview of recent developments, Landslides: Evaluation and Stabilization, Taylor & Francis Group, London, p.39-57
- Sandu, M. (1994), Depresiunea Sibiu-Apold. Studiu geomorfologic. Ed. Academiei Romane, Bucuresti.
- Sepulveda, S.A., Murphy, W., Petley, D.N. (2004), The role of topographic amplification effects on the generation of earthquake-induced rock slope failures, Landslides: Evaluation and Stabilization, Taylor & Francis Group, London, p.311-315
- Tsunaki, R. et al. (2002), Landslides in Japan, Ed. by Japan Landslide Society, Japan.
- Varnes, D.J. (1978), Slope movement .Types and Processes, Landslides and Engineering Practice. H.R.B., Spec. Rep., no.29, p.20-47
- Zugravescu, D. et al. (1999), Recent vertical crustal movement on the Romanian Territory, Rev. Roum. de Geophysique, VII, 1.
- xxx Urgent report of the landslide Disasters by the Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004, Japan, http://japan.landslide-soc.org/2004tyuuetu/English_ver3_20041216.pdf
- xxx <http://www.hrr.mlit.go.jp/yuzawa>

Dr. Mihaela Constantin*



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所土砂管理研究グループ
地すべりチーム JSPS 招聘研究員