

土石流モニタリング方式の文献調査

A BIBLIOGRAPHIC REVIEW OF DEBRIS-FLOW MONITORING DEVICES AND METHODS

板倉安正¹・稲葉宏幸²・澤田豊明³

Yasumasa ITAKURA, Hiroyuki INABA and Toyooki SAWADA

1 滋賀大学 教育学部 (〒520-0862 大津市平津 2-5-1)

2 京都工芸繊維大学 工学部電子情報工学科 (〒606-8585 京都市左京区松ヶ崎御所海道町)

3 京都大学 防災研究所穂高砂防観測所 (〒506-1422 岐阜県吉城郡上宝村中尾)

1. はじめに

近年、土石流のモニタリング方式は大いに進歩している。新しいセンサ技術が提案され、その実用性が現場での観測結果に基づいて議論されている。それぞれに良好な結果を導いているが(例えば, Arattano et al. 2000, Itakura et al. 200a), 全体的な視野でモニタリング方式を分類し、それぞれの特徴を整理しておくことはより有効なモニタリングシステムを作るために、また、これまでの欠陥を補って新しいセンサ技術を開発していくためにも必要なことであると考え。ここでは文献に基づいた調査結果について報告する。

2. モニタリング方式の分類

モニタリングの目的は、一つは被害を抑えるために早期に有効な警報を出すことであり、もう一つは防災用構造物の設計やハザードマップ作成のための数値モデルを確立することである。したがって、ここでは警報とモニタリングに分けてモニタリング方式を分類することにした。分類は、単純には、直接方式と間接方式に分けるものである。もう一つの分類としては観測形態から、オイラー方式、ラグランジュ方式、リモートセンシング方式、現地調査方式に分けるものである。オイラー方式は1地点から発生時の土石流を観測する方式であり、ラグランジュ方式は土石流の流れに沿って移動しながら観測する方式である。リモートセンシング方式は遠隔からの観測と共にこれまでのデータの統計解析含んでいる。そして、現地調査方式は発生以前または以後の現場となる溪谷の

状況を調査する方式である。これからの方式としてはラグランジュ方式の進展が期待される。

本資料には、ページ数の制限で前者の分類、直接方式と間接方式の分類しか掲載できなかった。表1が警報用で、表2がモデリング用であり、表3はその文献を示している。表1では機能の項目として、「発生予知」、「発生検知」、「接近検知」、「流量推定」を上げた。性能比較では、「接触か非接触式か」、「再使用」、「悪天候下の作動」、「受動か能動方式か」、「低消費電力」の項目について検討した。一方、表2では、抽出すべきパラメータとして、気象要素、流れの要素、流域要素に分け、気象要素では、「降雨強度」、「降雨量」、「連続雨量」の項目、流れの要素では、「流速」、「ベクトル流速」、「波高・水位」、「流量」、「粒径」、「含水量・粘性」の項目、流域要素では、「河床勾配」、「流域面積」、「堆積物材料」、「堆積物生産量」、「堆積量」の項目について検討した。各項目は現段階では定性的なもので、有用、可能、不可能、要検討で示した。

3. まとめ

ここでは降雨によって引き起こされる土石流を対象にしていて、地球温暖化による氷河の急速な融解や火山噴火などによる急速な積雪融解による土石流は含まれていない。これらにも表に示した多くのモニタリング方式は有効であろうと予測されるが、早急な検討を要する。なお、現段階の調査は筆者らの目の届く範囲であることをお詫びし、不十分な点は多くの方のご指摘により補われることを期待する。

表1 警報のためのモニタリング

センサの種類	機能				性能				
	発生予知	発生検知	近接検知	流量推定	接触/非接触	再使用	悪天候可	能動/受動	低消費電力
I. 直接方式									
1. ひずみ計	△	○	○	△	NC	Y	Y	P	Y
2. 超音波水位計	-	○	○	○	NC	Y	Y	A	Y
3. ワイヤセンサ	×	○	○	△	C	Y/N	Y	P/A	Y/N
4. 圧力センサ	-	△	△	△	C	Y	Y	P	Y
5. 振動センサ									
(a) マイクロフォン素子	-	△	○	○	NC	Y	Y	P	Y
(b) 地震計	-	△	○	○	NC	Y	Y	P	Y
(c) 可動コイル素子	-	△	○	○	NC	Y	Y	P	Y
(d) ピエゾ素子	-	△	○	○	NC	Y	Y	P	Y
6. 画像処理									
(a) 空間フィルタ法	×	△	○	△	NC	Y	*1	P	*2
(b) MPEG 法	×	△	○	△	NC	Y	*1	P	*2
(c) STD 法	×	△	○	△	NC	Y	*1	P	*2
(d) 相関法	×	△	○	△	NC	Y	*1	P	*2
7. レーダ	-	△	○	△	NC	Y	Y	A	N
8. バケツ/ロードセル法									
9. 加速度センサ	-	△	△	-	C	N	Y	P	N
II. 間接方式									
1. 雨量計	○	×	×	×	NC	Y	Y	P	Y

○ 有用, △ 可能 X 不可能 - 要検討
 NC; 非接触 C; 接触, Y; 可, N; 否, A; 能動, P; 受動
 *1 霧中不可, *2 コンピュータシステム併用, *3 信号伝送に電力を要す

略語: MPEG; moving picture-coding experts group, STD; spatio temporal derivative

表2 モデリングのためのモニタリング

センサの種類	気象要素				流れの要素				流域要素				
	降雨強度	降雨量	連続雨量		流速	流速	粒径	含水量・粘性	河床勾配	流域面積	堆積物材料	堆積物生産量	堆積量
I. 直接方式													
1. ひずみ計	×	×	×	×	×	×	×	×	△	×	×	—	△
2. 超音波水位計	△	△	—	○	—	○	×	—	—	×	×	—	△
3. ワイヤセンサ	×	×	×	○	×	○	×	×	×	×	×	—	—
4. 圧力センサ	—	—	×	△	—	△	—	—	×	×	×	—	△
5. 振動センサ													
(a) マイクロフォン素子	×	×	×	△	×	○	—	×	×	×	×	×	×
(b) 地震計	×	×	×	—	×	○	—	×	×	×	×	×	×
(c) 可動コイル素子	×	×	×	—	×	○	—	×	×	×	×	×	×
(d) ピエゾ素子	×	×	×	—	×	○	—	×	×	×	×	×	×
6. 画像処理													
(a) 空間フィルタ法	×	×	×	○	○	—	△	×	×	×	×	×	—
(b) MPEG 法	×	×	×	—	—	△	×	×	×	×	×	×	×
(c) STD 法	×	×	×	○	○	—	×	×	×	×	×	×	×
(d) 相関法	×	×	×	○	○	△	△	×	×	×	×	×	△
7 レーダ	○	○	○	○	△	—	—	—	×	×	×	—	△
8. バケツ/ロードセル法	—	—	×	×	×	○	△	×	×	—	—	—	△
9. 加速度センサ	×	×	×	△	△	—	×	×	×	×	×	×	×
II. 間接方式													
1. 雨量計	○	○	○	×	×	×	×	—	×	×	×	×	×
2. 採取測量	×	×	×	×	×	○	—	△	△	○	○	○	○
3. 電気センシング法	—	—	×	×	×	△	△	×	×	○	△	△	△
4. 距離計	×	×	×	—	×	×	×	×	△	×	×	×	×
5. GPS 法	×	×	×	—	—	—	×	×	△	×	×	×	×
6. 画像解析	×	×	×	△	△	—	—	○	○	△	○	○	○
7. 統計解析	△	△	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○

略語: MPEG; moving picture-coding experts group, STD; spatio temporal derivative, GPS; global positioning system

○ 有用, △ 可能, × 不可能, — 要検討

表3 文献一覧

センサの種類	文献
I. 直接方式	
1. ひずみ計	周知の技術
2. 超音波水位計	Zhicheng & Ringhua 1989, Zhang 1993, Arattano et al. 1997, Arattano & Moia 1999, Genevois et al. 2000, Marchi et al. 2002
3. ワイヤセンサ	周知の技術
4. 圧力センサ	Genevois et al. 2000
5. 振動センサ	
(a) マイクロフォン素子	Taniguchi et al. 1992, Itakura et al. 1997, 2000a
(b) 地震計	奥田 他 1979, Suwa & Okuda 1985, Ewert et al. 1993, Arattano 1999, Arattano & Moia 1999, Arattano 2000, Suwa et al. 2000, Genevois et al. 2000, Marchi et al. 2002
(c) 可動コイル素子	Pierson 1995
(d) ピエゾ素子	Banziger & Burch 1990, Rickenmann 1994, Ishikawa & Ishizuka 1995, Rickenmann et al. 1998, Spreafico 1998
6. 画像処理	
(a) 空間フィルタ法	Itakura et al. 1985, 1989, 板倉 他 1991, Uddin et al. 1998, 1999, Genevois et al. 2001
(b) MPEG 法	小山 他 2000
(c) STD 法	Inaba et al. 1997, 2000, Uddin et al. 2001
(d) 相関法	Arattano & Marchi 2000, Arattano & Graftoni 2000, Uddin et al. 2002, Marchi et al. 2002
7. レーダ	YDK 2002
8. バックツ/ロードセル法	Miyamoto et al. 1992, Laronne et al. 1992
9. 加速度センサ	Itakura et al. 2000b
II. 間接方式	
1. 雨量計	Wieczorek 1987, Jingwu 1989, Ceriani et al. 1994, Larsen & Torres-Sanchez 1998, Montgomery et al. 2000, Deganutti et al. 2000, Marchi et al. 2002
2. 採取/測量	Suwa & Okuda 1985, Bogen 1992, De Jong 1992, Moscarriello & Deganutti 2000, Rickenmann 2001
3. 電気センシング法	Godio & Bottino 2001
4. 距離計	浅野 他 2002
5. GPS 法	青野 他 1999, Machida 2001
6. 画像解析	Downward et al. 1994, 河邑&辻子 1998, Temesgen et al. 2001, Parise 2001, Qi 他 2001, Hubl & Steinwendner 2001, Polemio & Petrucci 2001
7. 統計解析	DeRoo et al. 1994, Downward et al. 1994, Becht & Rieger 1997, Tanabashi 1998, Temesgen et al. 2001, D'Agostino & Marchi 2001, Franz & Bianco 2001

参考文献

- 青野, 他. 1999. GPS と内界センサを用いた起伏地における移動機の位置計測, 計測自動制御学会論文集 35 (8): 1004-1011. 計測自動制御学会
- Arattano, M., Deganutti, A.M., & Marchi, L. 1997. Debris flow monitoring activities in an instrumented watershed on the Italian Alps. In C.L. Chen (ed.), *Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment*; Proc. first intern. conf., San Francisco, USA, 7-9 August 1997: 506-515. ASCE. New York:
- Arattano, M. 1999. On the use of seismic detectors as monitoring and warning systems for debris-flows. *Natural Hazards* 20 (2-3): 197-213.
- Arattano, M. & Moia, F. 1999. Monitoring the propagation of a debris flow along a torrent. *Hydrological Sciences* 44 (5): 811-823.
- Arattano, M. & Gratonni, P. 2000. Using a fixed video camera to measure debris-flow surface velocity. In G.F. Wieczorek & N.D. Naeser (eds), *Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment*; Proc. 2nd intern. conf., Taipei, Taiwan, 16-18 August 2000: 273-281. Rotterdam: Balkema Press.
- Arattano, M. & Marchi, L. 2000. Video-derived velocity distribution along a debris flow surge. *Phys. Chem. Earth (B)* 25 (9): 781-784. Elsevier Science.
- Arattano, M. 2000. On debris flow front evolution along a torrent. *Phys. Chem. Earth (B)* 25 (9): 733-740. Elsevier Science.
- 浅野, 他. 2002. 3D レーザースキャナの地すべり計測への適用性. 土木技術資料. 44 (6): 24-29. 独立行政法人土木研究所
- Banzinger, R. & Burch, H. 1990. Acoustic sensors (hydrophones) as indicators for bed load transport in a mountain torrent. Proc. Hydrology in Mountainous Regions, Lausanne, Switzerland, August 1990: 207-214. Publication No.193: 207-214.
- Becht, M. & Rieger, D. 1997. Spatial and temporal distribution of debris-flow occurrence on slopes in the Eastern Alps. In C.L. Chen (ed.), *Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment*; Proc. first intern. conf., San Francisco, USA, 7-9 August 1997: 516-529. New York: ASCE.
- Bogen, J. 1992. Monitoring grain size of suspended sediments in river. In J. Bogen, D.E. Walling & T. Day (eds), *Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basin*; Proc. Intern. Symp., Oslo, Norway, 24-28 August 1992: 183-190. IAHS Publication No.210.
- Ceriani, M., Lauzi, S., & Padova, N. 1994. Rainfall thresholds triggering debris flows in the alpine area of Lombardi Region Central Alps-Italy. *Man and Mountain '94, First Intern. Cong. For the Protection and Development of Mountain Environment. Mantana, Milano*: 123-139.
- D'Agostino, V. & Marchi, L. 2001. Debris flow magnitude in the eastern Italian Alps: Data collection and analysis. *Phys. Chem. Earth (C)* 26 (9): 657-663. Elsevier Science Ltd..
- Deganutti, A.M., Marchi, L. & Arattano, M. 2000. Rainfall and debris-flow occurrence in the Moscardo basin (Italian Alps). In G.F. Wieczorek & N.D. Naeser (eds), *Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment*; Proc. 2nd intern. conf., Taipei, Taiwan, 16-18 August 2000: 67-72. Rotterdam: Balkema Press.
- De Jong, C. 1992. Measuring changes in micro and macro roughness on mobil gravel beds. In J. Bogen, D.E. Walling & T. Day (eds), *Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basin*; Proc. Intern. Symp., Oslo, Norway, 24-28 August 1992: 31-40. IAHS Publication No.210.
- De Roo, A.P.J., Wesseling, C.G., Cremers, N.H.D.T., Ritsema, C.J., & Van Oostinje, K. 1994. LISEM: a new physically-based hydrological and soil erosion model in a GIS-environment, theory, and implementation. In L.J. Olive, R.J. Loughran & J.A. Kesby (eds), *Variability in Stream Erosion and Sediment Transport*; Proc. Intern. Symp.; Canberra, Australia, 12-16 Dec. 1994: 439-448. IAHS Publications No. 224.
- Downward, S.R., Gurnell, A.M., & Brookes, A. 1994. A methodology for quantifying river channel planform change using GIS. In L.J. Olive, R.J. Loughran & J.A. Kesby (eds), *Variability in Stream Erosion and Sediment Transport*; Proc. Intern. Symp.; Canberra, Australia, 12-16 Dec. 1994: 449-456. IAHS Publications No. 224.
- Ewert, J.W., Murray, T.L., Lockhart, A.B., & Miller, C.D. 1993. Preventing volcanic catastrophe; The US International Volcano Disaster Assistance Program. *Earthquakes and Volcano*, 24 (6): 270-291.
- Franzi, L. & Bianco, G. 2001. A statistical method to predict debris flow deposited volumes on a debris fan. *Phys. Chem. Earth (C)* 26 (9): 683-688. Elsevier Science Ltd..
- Genevois, R., Tecca, P.R., Breti, M. & Simoni, A. 2000. Debris-flow in the Doromites: Experimental data from a monitoring system. In G.F. Wieczorek & N.D. Naeser (eds), *Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment*; Proc. 2nd intern. conf., Taipei, Taiwan, 16-18 August 2000: 283-291. Rotterdam: Balkema Press.
- Genevois, R., Gaigaro, A., & Tecca, P.R. 2001. Image analysis for debris flow properties estimation. *Phys. Chem. Earth (C)* 26 (9): 623-631. Elsevier Science Ltd..
- Godio, A. & Bottino, G. 2001. Electrical and electromagnetic investigation for landslide characterization. *Phys. Chem. Earth (C)* 26 (9): 705-710. Elsevier Science Ltd..
- Huble, J. & Steinwendtner, H. 2001. Two-dimensional simulation of two viscous debris flows in Austria. *Phys. Chem. Earth (C)* 26 (9): 639-644. Elsevier Science Ltd..
- Inaba, H., Uddin, M.S., Itakura, Y. & Kasahara, M. 1997. Surface velocity vector field measurement of debris flow based on spatio-temporal derivative space method. In C.L. Chen (ed.), *Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment*; Proc. first intern. conf., San Francisco, USA, 7-9 August 1997: 757-766. New York: ASCE.
- Inaba, H., Itakura, Y., & Kasahara, M. 2000. Surface velocity computation of debris-flows by vector field Measurements. *Phys. Chem. Earth (B)* 25 (9): 741-744. Elsevier Science.
- Ishikawa, Y. & Ishizaki, T. 1995. System for measuring debris flow ground Vibrations at Mt. Unzen, Proc. 3rd PWRI-USGS Workshop on Hydrology, Tsukuba, Japan, 31 Jan.-1 Feb. 1995: 31-37. PERI No. 3373.
- Itakura, Y., Ogawa, K., Suwa, H., & Mizuhara, K. 1985. Trend and fluctuations of the surface-velocity of Debris-flow measured by a non-contact speed sensor with a spatial filter. In M. Harada (ed.), *Fluid Control and Measurement*; Proc. Intern. Symp., Tokyo, Japan, 2-6 September 1985: 781-786. New York: Pergamon Press.
- Itakura, Y. & Suwa, H. 1989. Measurement of surface velocity of debris flows by spatial filtering velocimetry. In S. Tochiki (ed.), *Landslides and Debris-Flows*; Proc. The Japan-China Symp., 3 Oct., Niigata and 5 Oct., Tokyo, Japan, 1989: 199-203. published by The Japan Landslide Soc. & The Japan Soc. Erosion Control Eng.
- 板倉, 他. 1991. 空間フィルタ速度計測法の不規則動画像シミュレーションと土石流表面速度測定への応用, 計測自動制御学会論文集 27 (10): 1092-1098. 計測自動制御学会
- Itakura, Y., Koga, Y., Takahama, J. & Nowa, Y. 1997. Acoustic detection sensor for debris-flow. In C.L. Chen (ed.), *Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment*; Proc. first intern. conf., San Francisco, USA, 7-9 August 1997: 747-756. New York: ASCE.
- Itakura, Y., Fujii, N. & Sawada, T. 2000a. Basic characteristics of ground vibration sensors for the detection of debris-flow. *Phys. Chem. Earth (B)* 25 (9): 717-720. Elsevier Science Ltd..
- Itakura, Y., Kitajima, T., Endo, K. & Sawada, T. 2000b. A new double dual-axes accelarometer debris-flow detection system. In G.F.

- Wieczorek & N.D. Naeser (eds), *Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment; Proc. 2nd intern. conf., Taipei, Taiwan, 16-18 August 2000*: 319-324. Rotterdam: Balkema Press.
- Jingwu, C. 1989. Prediction of rainstorm-induced debris flows. In S. Tochiki (ed.), *Landslides and Debris Flows; Proc. The Japan-China Symp., 3 Oct., Niigata and 5 Oct., Tokyo, Japan, 1989*: 183-186. published by The Japan Landslide Soc. & The Japan Soc. Erosion Control Eng.
- 河邑, 辻子. 1998. 衛星 IR 画像を用いた広域山腹斜面における 2 時災害監視 GIS. *自然災害科学* 17 (3): 279-290. 日本自然災害学会
- 小山, 他. 2000. MPEG 画像による土石流の検知. 計測自動制御学会論文集 36 (11): 1047-1049. 計測自動制御学会
- Laronne, J.B., Reid, I., Yitshak, Y., & Frostick, L. 1992. Recording bedload discharge in a semiarid channel, Hahal Yatir, Israel. In J. Bogen, D.E. Walling & T. Day (eds), *Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basin; Proc. Intern. Symp., Oslo, Norway, 24-28 August 1992*: 79-86. IAHS Publication No.210.
- Larsen, M.C. & Torres-Sanchez, A.J. 1998. The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico. *Geomorphology* 24 (4): 309-331.
- Marchi, L., Arattano, M. & Deganutti, A.M. 2002. Ten years of debris-flow monitoring in the Moscardo Torrent (Italian Alps). *Geomorphology* 46 (2002): 1-17. Elsevier.
- Machida, S. 2001. Future Prospect of harmonized utilization with GIS and GPS. *Journal of The Remote Sensing Society of Japan* 21 (1): 64-71. RSSJ Tokyo.
- Miyamoto, K., Kurihara, J., Sawada, T., & Itakura, Y. 1992. A study of field methods for measuring sediment discharge. In J. Bogen, D.E. Walling & T. Day (eds), *Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basin; Proc. Intern. Symp., Oslo, Norway, 24-28 August 1992*: 107-114. IAHS Publication No.210.
- Moscariello, A. & Deganutti, A.M. 2000. Sedimentary and hydrologic processes of a debris-flow dominated alluvial fan- Moscardo Fan, Italy. In G.F. Wieczorek & N.D. Naeser (eds), *Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment; Proc. 2nd intern. conf., Taipei, Taiwan, 16-18 August 2000*: 301-309. Rotterdam: Balkema Press.
- Montgomery, D.R., Schmidt, K.M., Greenberg, H.M., & Dietrich, W.E. 2000. Forest clearing and regional landsliding. *Geology* 28 (4): 311-314.
- 奥田, 他. 1979. 土石流の総合観測 (その 5) 1978 年焼岳上々堀沢における観測. 京都大学防災研究所年報. 22B-1: 157-204. 京都大学防災研究所.
- Parise, M. 2001. Landslide mapping techniques and their use in the assessment of the landslide hazard. *Phys. Chem. Earth (C)* 26 (9): 697-703. Elsevier Science Ltd.
- Pierson, T.C., 1995. Joint Study Results; Project on lahar and pyroclastic flows. *Proc. 3rd PWRI-USGS Workshop on Hydrology, Tsukuba, Japan, 31 Jan.-1 Feb. 1995*: 38-44. PERI No. 3373.
- Polemio, M. & Petrucci, O. 2001. Hydrogeological monitoring and image analysis of a mudslide in Southern Italy. *Phys. Chem. Earth (C)* 26 (9): 689-695. Elsevier Science Ltd.
- Qi, 他. 2001. 集中豪雨に対する防災情報としての GMS-5 赤外輝度温度活用の可能性. *自然災害科学* 20 (2): 173-182. 日本自然災害学会
- Rickenmann, D. 1994. Bedload transport and discharge in the Erlenbach stream. In P.Ergensinger & K.H.Schmidt (eds), *Dynamics and Geomorphology of Mountain Rivers*. 52: 53-66.
- Rickenmann, D., D'Agostino, V., Fontana, G.D., Lenzi, M., & Marchi, L. 1998. New results from sediment transport measurements in two alpine torrents. *Hydrology, Water Resources and Ecology in Headwaters, Proc. Head Water '98 Conf, Meran/Merano, Italy, April 1998*: 283-289. IAHS Publ. No. 248.
- Rickenmann, D. 2001. Comparison of bed load transport in torrents and gravel bed streams. *Water Resources Research* 37 (12): 3295-3305
- Spreafico, M. 1998. Observation and Management of Sediment in Headwater Basins of Switzerland. (private communication)
- Suwa, H. & Okuda S. 1985. Measurement of debris flows in Japan. *Proc. IV th Intern. Conf. And Field Workshop on Landslides. Tokyo, Aug. 1985*:391-400.
- Suwa, H., T.Yamakoshi, & Sato, K. 2000. Relationship between debris-flow discharge and ground vibration. In G.F. Wieczorek & N.D. Naeser (eds), *Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment; Proc. 2nd intern. conf., Taipei, Taiwan, 16-18 August 2000*: 311-318. Rotterdam: Balkema Press.
- Tanabashi, Y. 1998. Risk assessment and prediction of debris flow occurrence. *J. Japan Society for Natural Disaster Science* 16 (4): 293-306.
- Taniguchi, S., Itakura, Y., Miyamoto, K., & Kurihara, J. 1992. A new acoustic sensor for sediment discharge measurement. In J. Bogen, D.E. Walling & T. Day (eds), *Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basin; Proc. Intern. Symp., Oslo, Norway, 24-28 August 1992*: 135-142. IAHS Publication No.210.
- Temesgen, B., Mohammed, M.U., & Korme, T. 2001. Natural hazard assessment using GIS and remote sensing methods, with particular reference to the landslides in the Wondongen area, Ethiopia. *Phys. Chem. Earth (C)* 26 (9): 665-675. Elsevier Science Ltd.
- Uddin, M. S., Inaba, H., Itakura, Y., & Kasahara, M. 1998. Estimation of the surface velocity of debris-flow with computer-based spatial filtering. *Appl. Opt.* 37 (26): 6234-6239.
- Uddin, M. S., Inaba, H., Itakura, Y., Yoshida, Y., & Kasahara, M. 1999. Adaptive computer-based spatial filtering method for more accurate estimation of the surface velocity of debris-flow. *Appl. Opt.* 38 (32): 6714-6721.
- Uddin, M. S., Inaba, H., Itakura, Y., Yoshida, Y., & Kasahara, M. 2001. Large motion estimation by gradient technique-application to debris-flow velocity field. *Phys. Chem. Earth (C)* 26 (9): 633-638. Elsevier Science Ltd.
- Uddin, M. S., Inaba, H., Yoshida, Y., & Itakura, Y. 2002. Debris flow velocity estimation: a comparison between gradient-based method and cross-correlation method. *Image Processing: Algorithms and Systems; Proc. SPIE, 21-23 January 2002*:130-136. SPIE No. 4667.
- Wieczorek, G.F. 1987. Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in Central Santa Cruz Mountain, California. *Geol. Soc. of America. Reviews in Engineering Geology* 1(7): 93-104.
- YDK 2002. Catalog No. J7641 & K2000. Yokogawa Denshikiki Co., Ltd. Nishishinjyuku 3-7-1, Shinjyuku-ku, Tokyo, Japan, zip:163-1054. (<http://www.yokogawa.co.jp/YDK/>).
- Zhang, S. 1993. A comprehensive approach to the observation and prevention of debris flows in China. *Natural Hazards* 7 (1):1-23.
- Zhicheng, K. & Pinghua, H. 1989. A debris flow mud-level alarm and its principle. In S. Tochiki (ed.), *Landslides and Debris-Flows; Proc. The Japan-China Symposium, 3 Oct., Niigata and 5 Oct., Tokyo, Japan, 1989*: 209-212. published by The Japan Landslide Soc. & The Japan Soc. Erosion Control Eng.

(2004. 6. 18 受付)