

論文 (Original article)

2008年岩手・宮城内陸地震災害地周辺の先行土湿の季節変動

野口正二^{1)*}、安田幸生¹⁾、多田泰之²⁾、三森利昭²⁾

Seasonal variation of antecedent soil moisture in and around the disaster area of the Iwate-Miyagi Nairiku earthquake in 2008

Shoji NOGUCHI^{1)*}, Yukio YASUDA¹⁾, Yasuyuki TADA²⁾ and Toshiaki SAMMORI²⁾

Abstract

The seasonal variation of an antecedent soil moisture index (ASI_{30}) in and around the disaster area of the Iwate-Miyagi Nairiku earthquake in 2008 was investigated using AMeDAS data spanning 27 years. The ASI_{30} values ranged from 0 to 378.3 mm with an average ($\pm SD$) of 22.5 mm (± 22.0) at the Maturube site (320 m asl.). The average ASI_{30} value for the 10 days following the earthquake continued at a low value ($ASI_{30} < 20$ mm) which was rare for this season. The maximum ASI_{30} value each month was more than 100 mm except in February. The frequency of values higher than this was greatest in August. The minimum average ASI_{30} value each month was 6.9 mm and this occurred in February. The highest average ASI_{30} each month was in April (34.9 mm) during snow melt season, followed by September (34.5 mm) and July (31.9 mm). ASI_{30} in the high mountain zone (1,300 m asl.) was estimated from 4.0 to 320.0 mm with an average of 50.0 ± 64.9 mm from November 2007 to October 2008. The results were higher than the ASI_{30} at the Maturube site where values ranged from 3.1 to 136.4 mm with an average of 19.6 ± 18.3 mm. This was because more than 50 mm of rainfall was added to the melting snow water continuously at the 1,300 m point so the ASI_{30} was higher during snow melt season. On July 14th 2008, when the earthquake occurred, the ASI_{30} at the 1,300 m point and at the Maturube site were 245.1 mm and 18.0 mm, respectively. The ASI_{30} after the earthquake did not reach the result recorded at heavy rain and snow years. Therefore, continued monitoring of the antecedent soil moisture in and around the disaster area in the future is necessary.

Key words : Snowy region, antecedent soil moisture index, snow melt, a high mountain zone, heavy rainfall

要旨

2008年岩手・宮城内陸地震の震源地近傍の27年間のアメダスデータから、先行土湿指数(ASI_{30})の季節変化を明らかにした。地震直後の旬別の ASI_{30} の平均値は例年より低い値($ASI_{30} < 20$ mm)が続いた。 ASI_{30} は0.0~378.3mm(平均値 $\pm SD$, 以下同様: 22.5 ± 22.0 mm)であった。2月を除く各月で ASI_{30} の最大値は100mmを超え、8月にその頻度が高かった。月別 ASI_{30} の平均値は、厳冬期の2月に最小値(6.9mm)を示し、融雪期の4月(34.9mm)、次いで9月(34.5mm)、7月(31.9mm)の順で高い値を示した。2007年11月-2008年10月における高山地帯(標高1,300m)の ASI_{30} は4.0~320.0mm(50.0 ± 64.9 mm)と推定され、祭時(標高:320m)の ASI_{30} (3.1~136.4mm; 19.6 ± 18.3 mm)と比較して高い値を示した。高山地帯では融雪期において、継続的に50mmを超える降雨が融雪水に加算され ASI_{30} が高くなっていた。地震が発生した2008年6月14日の高山地帯の ASI_{30} は245.1mmで、祭時の ASI_{30} (:18.0mm)と比較して非常に湿潤な状態にあったことが明らかになった。地震後の ASI_{30} は過去に記録した多雨・多雪年時に至っておらず、引き続き、土湿環境を注視する必要があると考えられた。

キーワード: 積雪地域、先行土湿指標、融雪、高山地帯、豪雨

原稿受付:平成23年11月28日 Received 28 November 2011 原稿受理:平成24年4月26日 Accepted 26 April 2012

1) 森林総合研究所東北支所 Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) 森林総合研究所 Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

* 森林総合研究所東北支所 〒020-0123 盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25 Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 92-25 Nabeyashiki, Shimo-Kuriyagawa, Morioka 020-0123, Japan, e-mail: noguchi@ffpri.affrc.go.jp

1. はじめに

2008年6月14日に発生した岩手・宮城内陸地震によって、荒砥沢ダムでの大規模地すべりをはじめ、耕英地区での山腹崩壊群、積雪が残る東栗駒山頂近くの山腹崩壊とドゾウ沢での土石流、一迫川上流域での大規模な岩盤崩壊・深層崩壊など、震源地周辺の山地で多数の中・小規模の斜面崩壊が発生した(国土交通省国土技術政策研究所ら, 2008; 東北森林管理局, 2008; 三森ら, 2010)。災害直後に撮影された航空写真とALOSの可視光画像を用いて、10,751箇所、13.576 km²の崩壊地が目視によって抽出されている(三森ら, 2010; 2012)。過去の地震災害について見ると、地震によって緩んだ地盤は地震前よりも降雨によって崩壊地が拡大しやすく(富田ら, 1996)、積雪地域では雪崩災害や融雪流出時に河道閉鎖による河川の氾濫が報告されている(河島ら, 2005)。岩手宮城内陸地震で発生した斜面崩壊の中で、崩壊には至らずに山体に亀裂が生じている現場が複数地点で確認されており(村上ら, 投稿中)、今後、過去の地震災害と同様に災害地周辺の土湿環境について注意を払う必要がある。

土壌雨量指数は、土壌中の水分量について Ishihara and Kobatake (1979) が提案した直列3段タンクモデルを用いて推定し、過去10年間のデータと比較して土砂災害警戒情報及び雨量警報・注意報の発表基準に使用されている(岡田, 2007)。岡田(2006)は、この雨量指数を用いて中越地震時の先行降雨について明らかにして、その数値がやや高めだったことを指摘している。一方、積雪地域では、寒候期の降水は個体として一時的に地表に留まり、融雪期に融雪水量として大量に地表にもたらされるため、融雪過程を考慮する必要がある。しかし、岡田(2006)の報告では融雪の影響について検討されていない。野口ら(2010)は、先行降水指数に融雪水量を考慮した先行土湿指数を提案し、2008年岩手・宮城内陸地震の震源地近傍のアメダスデータを用いて豪雨時や多雪年の融雪時の先行土湿について示し、地震前後の先行土湿が比較的乾燥した状態であったことと、その後しばらく乾燥した状態が維持されたことを示した。一方、この先行研究は、地震が発生した前後の年と多雪年や少雪年との先行土湿の比較のみで、先行土湿の中・長期的な年・季節変化について十分に検討されていない。また、使用したアメダス観測所の位置する標高は、宮城県栗駒アメダス観測所の850mが最標高地であり、高山地帯における先行土湿の状態について議論が不足していた。

本研究では上記の課題について着目し、祭時の27年間の長期データに基づき先行土湿の年・季節変化を明らかにするとともに、高山地帯の先行土湿の状態を推定して、岩手・宮城内陸地震による災害地周辺の先行土湿について検討を加えた。

2. 方法

2.1 日融雪量の推定

日融雪量の推定は、改良型ディグリー・デー法(河島・和泉, 2008)に準じた。この方法は融雪開始日の決定に当たり、以下のFD-index (First Discharge Index)を計算する:

$$FD = \sum T_a \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 T_a は日平均気温(°C)とする。ただし、日平均気温がマイナスの場合は $T_a=0$ として扱い、3日間連続して日平均気温がマイナスの場合はFD値を0に戻す。本研究では、融雪が開始されるFD値を3とした。

日融雪量 M (mm) は、次式によって求めた:

$$M = \frac{k}{2} (T_{ay} + T_{at}) + a \dots \dots \dots (2)$$

ここで、ディグリー・デー・ファクター k (mm/°C/day)、推定する日の前日の日平均気温 T_{ay} 、日融雪量を推定する当日の日平均気温 T_{at} 、平均日浸透水量 a (mm/day)とした。なお、 a の初期値は太田(1989)による観測値1.0(mm/day)とした。

ディグリー・デー・ファクター k (mm/°C/day)は次式から求めた:

$$k = 0.039x + 2.3 \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 x は融雪開始日をユリウス日数の形態で表したものである。

2.2 先行土湿指数 (antecedent soil moisture index: ASI)

過去の日降雨量の重み付き総和で計算される Mosley(1979)が提示している先行降雨指数 (antecedent precipitation index: API) は、直接土壌水分が測定できない場合の土壌水分の指標として幅広い研究分野に採用されており(例えば, Kosugi *et al.*, 2007; Negishi *et al.*, 2007)、次式から求める:

$$API_n = \sum_{i=1}^n P_i / i \quad (4)$$

ここで、 i は対象とする日からさかのぼった日数、 P_i は対象とする日から*i*日前の日降水量、 n はさかのぼる日数である。本研究では対象とする地域が積雪地帯のため、寒候期の降水は固体として地表に一時的に留まり、融雪期に地表へと浸透する。そこで、野口ら(2010)が提案する先行土湿指標 (ASI) を求める:

$$ASI_n = \sum_{i=1}^n (M_i + P_i) / i \quad (5)$$

式(5)の P の値について雪と判断された場合は0とし、雨と判断された降水はその日の内に地表へ浸透すると仮定した。また、積雪期間中に推定した融雪量の

総和は雪と判断された降水量の総和と等しいと仮定して、その差は推定日融雪量に応じて補正した。なお、APIの n の値に関して、Negishi *et al.* (2007) は $n=7$ として出水との関係を解析し、Kosugi *et al.* (2007) は $n=60$ として土壌呼吸との関係に相関があることを示した。どちらの n の値も試行錯誤で決定しており、 n の値については対象とする現象や目的によって異なると考えられる。本研究では季節変化について検討することから、 $n=30$ とした。また、API もしくは ASI は植生による遮断蒸発・蒸発散や季節による蒸発ポテンシャルの大小の影響を受けると考えられるが、ここではそれらの影響を考慮していない。

2.3 雨・雪判断

雨雪の判別気温は、小川・野上 (1994) による結果を採用して判断した。小川・野上 (1994) は、降水が 50% の確率で個体降水 (降雪) としてもたらされる際の地上気温を雨雪の判別気温とし、日本を 15 の地域に区分して地域毎に冬季 6 カ月間の各月の判別気温を算出している。震源地周辺は東北東部に位置し、その判別気温は 1.4 ~ 2.6°C であった。

2.4 積雪期と無積雪期の区分

災害地周辺は積雪地域のため、1 年間で 11 月から翌年 4 月を積雪期、5 月から 10 月を無積雪期として区分した。

2.5 使用したアメダスデータ

本研究では、災害地周辺で積雪深の観測が長期間実施されている岩手県祭時のアメダスの観測値を中心に使用した。ただし、地震直後に祭時の観測所で電力供給の問題が生じて観測が停止したため、復旧するまでの降水量は臨時の観測所の岩手県巖美での観測値を使用した。また、祭時において気温が未計測のため、岩手県一関における気温データに 0.6°C / 100 m の気温減率を用いて推定し、地震の影響以外で降水量が欠測の場合、近傍の岩手県衣川の値から推定した。高山地帯の降水量と積雪深の推定にあたり、一関、祭時、宮城県栗駒および宮城県栗駒山の観測値を使用した。高山地帯の気温の推定は、宮城県川渡における気温データに 0.6°C / 100 m の気温減率を用いて推定した (気象庁, 2010)。使用したデータの項目と期間について Table 1 に、位置について Table 1 と Fig.1 に示す。

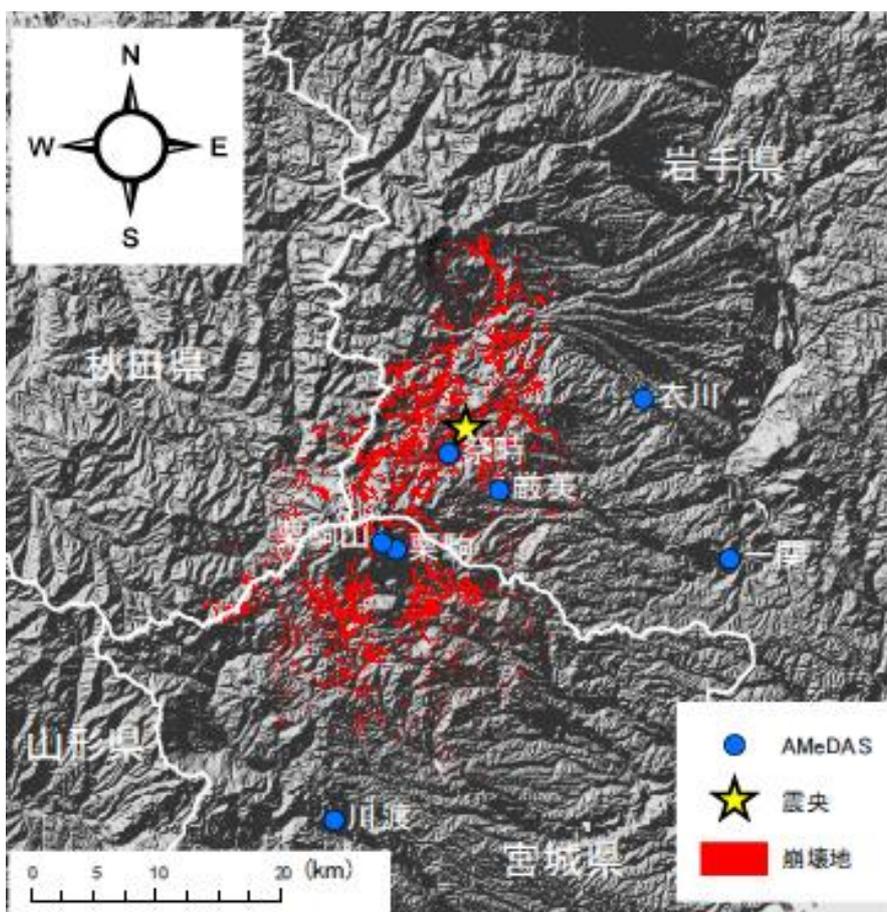


Fig. 1. 2008 年岩手宮城内陸地震における崩壊地 (■) 周辺の地形および使用したアメダス観測地点 (●) ☆は震央を示す 三森ら (2012) を改編
Topographic features and AMeDAS points (●) around the disaster area (■) of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake. The star is the epicenter of the earthquake. Adapted from Sammori *et al.* (submitted).

Table 1. 使用したアメダスデータ
Used AMeDAS data

アメダス観測地点	位置	標高 (m)	期間	使用項目
岩手県祭時	N39° 0' 36" , E140° 51' 54"	350	1983.11. - 2010.10.	降水量、最深積雪
岩手県一関	N38° 56' 0" , E141° 7' 30"	32	1983.11. - 2010.4.	降水量、気温、最深積雪
岩手県巖美	N38° 59' 0" , E140° 54' 42"	230	2008.6.19-2008.9.2.	降水量
岩手県衣川	N39° 3' 0" , E141° 2' 42"	75	祭時が欠測時	降水量
宮城県栗駒	N38° 56' 24" , E140° 49' 0"	850	1983.11.-1997.4.	最深積雪
宮城県栗駒山	N38° 56' 42" , E140° 48' 12"	1,100	1976.6.-1979.10.	降水量
宮城県川渡	N38° 44' 36" , E140° 45' 36"	170	2007.11.-2008.10.	気温

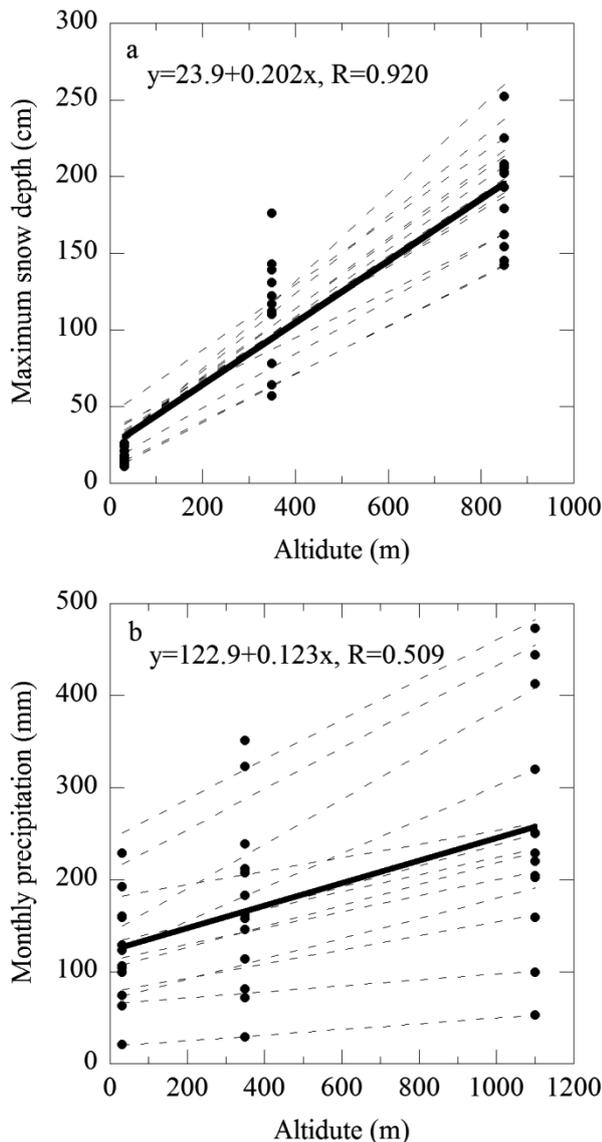


Fig. 2. (a) 一関 (標高:32m)、祭時 (標高:350m) および栗駒 (標高:850m) における標高と最大積雪深の関係、(b) 一関、祭時、栗駒山 (標高:1100m) における標高と月別降水量の関係
点線は各年の回帰直線、太線は全期間の回帰直線を示す
(a) Relationship between altitude and maximum snow depth at the Ichinoseki (altitude: 32m), Maturube (altitude: 350m) and Kurikoma (altitude: 850m) sites, (b) Relationship between altitude and monthly precipitation at the Ichinoseki, Maturube and Kurikomayama (altitude: 1,100m) sites. The dotted line shows a regression line of each year, and the bold line shows the regression line of all data.

2.6 高山地帯の降水量・積雪深の推定

高山地帯の降水量と積雪深の推定にあたり、東栗駒山頂近くを想定して推定する標高を1,300 mとした。標高に応じて、降水量や積雪水量が増加することが指摘されている (例えば、水津ら, 1978; 山田ら, 1978; 1979)。12年冬期間 (1984-1996年) の一関 (標高: 32m)、祭時 (標高: 350m) および栗駒 (標高: 850m) における最大積雪深と標高の関係をみると、どの年も標高に応じてして最大積雪深が増加する直線的な関係があり (Fig.2a)、それぞれの直線の勾配は0.150 ~ 0.285 (平均 ±SD: 0.202 ± 0.040) であった。そこで、標高1,300m地点の最大積雪深は、祭時の値を基準として Fig.2a の平均値による関係式から推定した。また、積雪深の日変化について見ると、標高が高いほど根雪初日が早く、根雪終日が遅く、根雪期間が長い傾向があった (Fig.3abc)。また、日積雪深の変化は同期していた (Fig.3d)。そこで、標高1,300m地点の根雪初日は祭時のデータと推定した1,300m地点の気温から判断し、根雪終日は祭時の融雪減少傾向と同等と仮定して、最大積雪深を記録した日と最大積雪深の推定値を起点として求めた。降水量に関して、栗駒山 (標高: 1,100m) で観測されている期間 (1976-1979年) に着目して、一関、祭時、栗駒山における月別降水量と標高の関係をみる (Fig.2b)。その結果、どの月も標高に応じて降水量が増加する傾向があり、それぞれの直線の勾配は0.030 ~ 0.242 (0.123 ± 0.071) であった。そこで、標高1,300m地点の降水量は、祭時の値を基準として Fig.2b の平均値による関係式から推定した。

3. 結果と考察

3.1 先行土湿指数の年・季節変化

祭時における27年間のASI₃₀は0.0 ~ 378.3mm (平均値 ±SD, 以下同様: 22.5 ± 22.0mm) であった。年別のASI₃₀について見ると、平均値、最小値、最大値および変動係数はそれぞれ17.4 ~ 30.3mm (22.8 ± 3.0mm)、0.0 ~ 4.1mm (2.6 ± 1.1mm)、91.4 ~ 378.3mm (161.2 ± 61.6mm) および74 ~ 135% (93 ± 15%) であった。積雪期と無積雪期のASI₃₀値はそれぞれ0.8 ~ 171.1mm (17.5 ± 17.9mm) および0.0

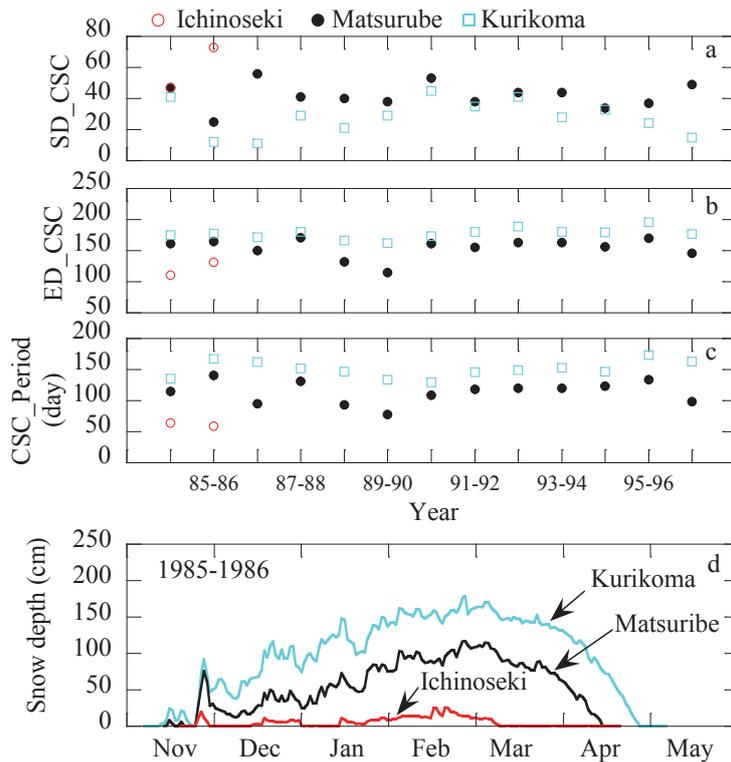


Fig. 3. 栗駒、祭時および一関における 1984-1985 年から 1996-1997 年冬の (a) 根雪初日 (SD_CSC)、(b) 根雪終日 (ED_CSC)、(c) 根雪期間 (CSC_Period) および (d) 1985-1986 年冬の積雪深の変化 (a) Start day of continuous snow cover (SD_CSC), (b) end day of continuous snow cover (ED_CSC), (c) continuous snow cover period (CSC_Period) during the 1984 - 1985 winter to the 1996 - 1997 winter periods and (d) variation of snow depth in the 1985 - 1986 winter period at the Kurikoma, Maturube and Ichinoseki sites.

～ 378.3mm (27.4±24.4mm) であった。両期間の差について、統計的に有意差が認められた (p=0.000)。

Fig.4 に祭時における 27 年間 (1983 年 11 月～2010 年 10 月) の ASI₃₀ の旬別変化を示す。ASI₃₀ の旬別変化は年々明瞭ではないが、12 月から翌年 3 月中旬まで 20mm 以下と低く、4 月に増加する傾向を示す。その後、5 月から 6 月中旬まで低い値の頻度が増加し、6 月下旬以降から高い値を示す。地震発生以降の旬別の ASI₃₀ は 20mm 未満が 3 旬つづき、最大値は 2008 年 8 月下旬の 63.9mm で、過去に記録された 80mm 以上の高い値は示されていない。野口ら (2010) は地震後に災害地周辺の先行土湿が小さかったことが、災害復旧に功を奏したと指摘している。地震発生の年と同様に 6 月中旬から 7 月上旬の ASI₃₀ が 20mm 未満であった年は 27 年間で 1984 年と 1985 年の 2 回のみであった (Fig.4)。この結果から地震直後は乾燥状態が例年より継続されたことがより定量的に明らかにされた。

月別 ASI₃₀ について Fig.5 に示す。月別 ASI₃₀ の平均値は、厳冬の 2 月に最も小さい値 (6.9mm) を示し、最も高い値は 4 月 (34.9mm) で、次いで 9 月 (34.5mm) と 7 月 (31.9mm) の順であった。これは、融雪期で

ある 4 月と梅雨前線が北上する 7 月と秋雨前線による影響がある 8 月と 9 月によって ASI₃₀ の値が大きくなるためと考えられる。また、100mm を超える ASI₃₀ は、2 月を除く各月で示し、8 月 (26 回) にその頻度が高く、200mm を超える ASI₃₀ は、8 月 (3 回)、9 月 (2 回) および 10 月 (1 回) であった。これらの結果から、月別 ASI₃₀ に対して、融雪期や梅雨前線よりも秋雨前線による影響が大きいと考えられる。

3.2 積雪期の先行土湿指数

融雪期の 4 月から 5 月にかけて ASI₃₀ が高い値を示した 1983-1984 年と 1999-2000 年の積雪期と、低い値を示した 1986-1987 年積雪期 (Fig.4) について、積雪深、気温、降水量および ASI₃₀ に着目する (Fig.6)。27 年冬季期 (1983-1984 年～2009-2010 年) の最大積雪深は、57～206cm (131±38cm) であり、1983-1984 年と 1999-2000 年の最大積雪深は 206cm と 194cm で多雪年に相当し、1986-1987 年冬季の最大積雪深は 78cm で少雪年に相当する。冬季の 1 月と 2 月の気温は、多雪年の 1984 年と 2000 年は -9.5～-1.2℃ (-5.2±2.1℃) および -6.4～4.1℃ (-1.0±2.3℃) で、少雪年の 1987 年は -7.4～7.8℃ (-2.3±3.1℃) で、少

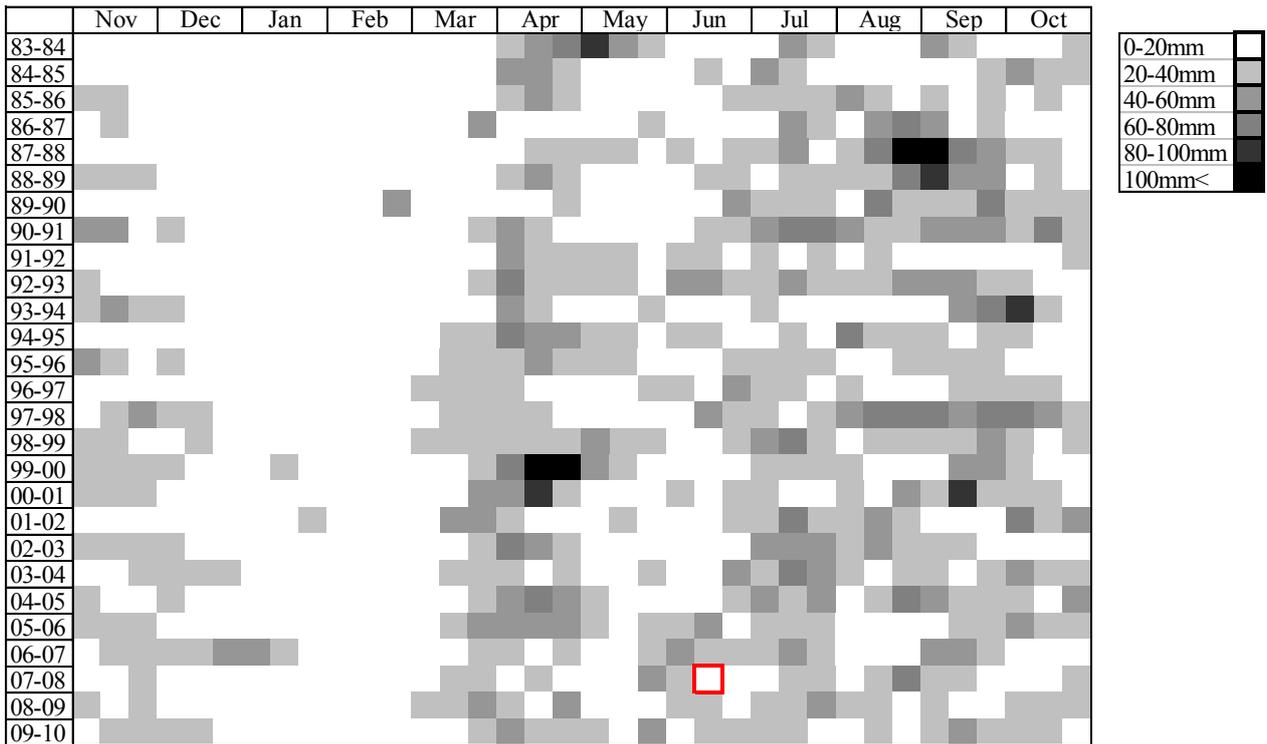


Fig. 4. 祭時における 27 年間 (1983 年 11 月～2009 年 10 月) の ASI_{30} 値の変化
 メッシュは各月の旬平均値を示す。
 Variation of ASI_{30} during 27 years (November, 1983 to October, 2010) at the Maturube site. Mesh indicates the average for a ten-day period of each month.

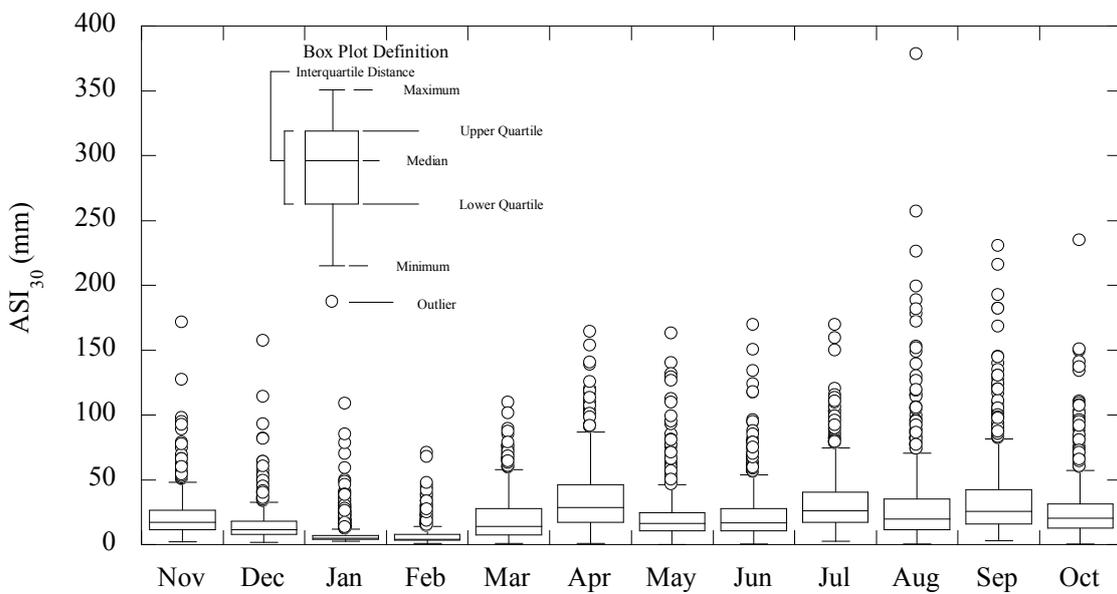


Fig. 5. 祭時における 26 年間の月別先行土湿指数 (ASI_{30})
 Monthly antecedent soil moisture index (ASI_{30}) at the Maturube site for 27 years (November, 1983 to October, 2010).

雪年は気温の変動幅が大きいことが特徴である。

1986-1987年冬期は厳冬期の2月にも関わらず降雨と判断された日があり、ASI₃₀がこの月間において36.8mmまで増加した。3月25日の53mmの降雨後に、ASI₃₀は最大値の91.8mmを示した。その後、根雪終日(3月30日)以降は減少した。1983-1984年冬

期は、11月18日の根雪初日以降、12月2日の26mmの降雨後にASI₃₀が39.1mmを示すが、4月4日まで3.5~39.1mm(6.1±5.3mm)と低い値であった。4月5日の45mmの降雨後にASI₃₀が60.1mmと増加し、融雪が本格的に開始されてから、5月2日の53mmの降雨後にASI₃₀は最大値の156.3mmを示した。1999-2000年冬期は、1月4日~10日まで1.7~4.1℃(2.5±0.8℃)と高い気温を示して総降雨量54mmが生じ、ASI₃₀は41.3mmを示した。融雪後期においてASI₃₀が3月30日(108.8mm)、31日(100.5mm)および4月12日~17日(103.2~139.1mm; 117.3±15.3mm)と100mmを超えていた。その要因は、経常的な融雪水量のほか、十分な降水量が発生したためであった。また、積雪は4月17日に消雪しているが、直後の4月21日の降雨(105mm)によってASI₃₀が163.5mmを示した。

野口ら(2010)は融雪期に降雨イベントが伴うときにASI₃₀の値が高くなり、注意が必要だと指摘している。少雪年において、ASI₃₀の値が高くなる時期は早く(3月下旬)、短期間である傾向があった。多雪年において、ASI₃₀の値が高くなる時期は少雪年時より遅く、長期間である傾向があった。一方、その時期は気温の高低によって4月上旬~中旬または4月下旬~5月上旬と異なっていた。地震後において、2008-2009年と2009-2010年の最大積雪深はそれぞれ108cmと143cmであり、過去の多雪年の最大積雪深に至っていない。このことから、引き続いて融雪期の土湿環境について注意が必要と考えられる。

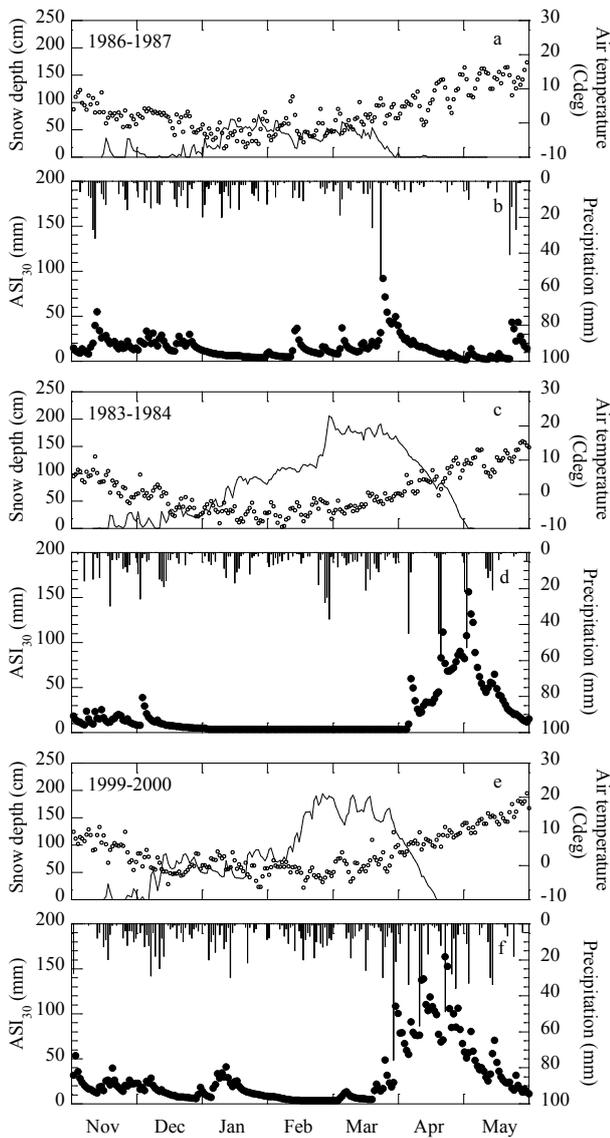


Fig. 6. 積雪期(11月から翌年5月)における(a)1986-1987年の日平均気温と積雪深、(b)1986-1987年の日降水量とASI₃₀、(c)1983-1984年の日平均気温と積雪深、(d)1983-1984年の日降水量とASI₃₀、(e)1999-2000年の日平均気温と積雪深、(f)1999-2000年の日降水量とASI₃₀ (a) Daily mean air temperature and snow depth in 1986-1987, (b) daily precipitation, and ASI₃₀ in 1986-1987, (c) daily mean air temperature and snow depth in 1983-1984, (d) daily precipitation, and ASI₃₀ in 1983-1984, (e) daily mean air temperature and snow depth in 1999-2000, and (f) daily precipitation and ASI₃₀ during snow cover season.

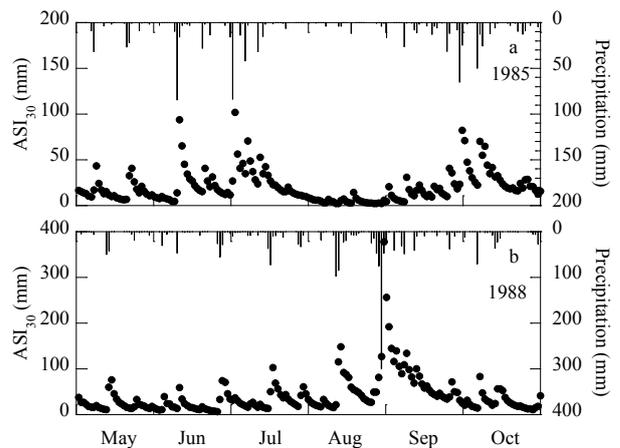


Fig. 7. 無積雪期における(a)1985年の日降水量とASI₃₀、(b)1988年の日降水量とASI₃₀ (a) Daily precipitation and ASI₃₀ in 1985, (b) daily precipitation and ASI₃₀ in 1988, during no snow cover season.

3.3 無積雪期の先行土湿指数

Fig.4 から無積雪期の ASI_{30} について、高い値を示した 1988 年と低い値を示した 1985 年の降水量と ASI_{30} に着目する (Fig.7)。27 年間 (1984 年～2010 年) の無積雪期の降水量は、926～1964mm (1252 ± 274 mm) で、1985 年と 1988 年はそれぞれ少雨年 (926mm) と多雨年 (1905mm) に相当する。1985 年の ASI_{30} は 2.1～101.9mm (20.3 ± 17.4 mm) で、7 月 1 日の降雨 (84mm) 後に ASI_{30} (101.9mm) が 100mm を超えた。8 月は ASI_{30} が 100mm を超える頻度が高く、比較的高い値を示す月 ($0.5 \sim 378.3$ mm; 29.6 ± 31.6 mm) だが (Fig.5)、この年の 8 月の月別降水量は 48mm で、 ASI_{30} は $0.5 \sim 13.8$ mm (3.2 ± 2.6 mm) と厳冬期の 2 月と同様な低い値を示した。1988 年の ASI_{30} は $6.6 \sim 378.3$ mm (41.8 ± 43.1 mm) で、8 月 29 日の降雨 (300mm) 後に ASI_{30} は 378.3mm を示した。この日降水量は、観測史上 (1974 年 4 月以降) で第 1 位の記録で、 ASI_{30} も最大値であった。観測史上の日降水量が第 10 位のデータは 158mm で、158mm 以上の降水量はすべて無積雪期に発生していた。地震後の最大日降水量は 2008 年 10 月 24 日に発生した 131mm で、第 10 位以内に入るような降雨イベントは発生していなかった。また、地震後の ASI_{30} の最大値は、その翌日に示した 136.4mm であった。以上から、融雪期と同様に引き続き土湿環境について注視する必要があると考えられる。

3.4 高山地帯の先行土湿指数

地震が発生した 2008 年 6 月 14 日において、東栗駒山頂近くで山腹崩壊とドゾウ沢で土石流が発生した。この地震で崩土が長距離移動した土石流はドゾウ沢のみである (三森ら, 2010)。東栗駒山頂近くでは積雪が残っていることが確認され、この地帯では融雪が継続していたと考えられる。ここでは、その状況を明らかにするため、標高 1,300 m 地点の先行土湿状態について検討する。

2007-2008 年冬期において、祭時での積雪深の観測によると、積雪初日、根雪初日、積雪終日および根雪終日は 11 月 18 日、12 月 13 日、4 月 2 日および 3 月 26 日であった。また、最大積雪深は、2 月 28 日に 143cm を記録した。祭時で積雪初日以前に降水量があり、標高 1,300m の推定気温から 11 月 2 日に雪と判断された。祭時では積雪は一時的に消雪し、根雪になるのは積雪初日から 25 日後であるが、高山地帯では 11 月 12 日の降水以降、雪と判断される気温以下であったことから (Fig.7a)、根雪開始日は 11 月 12 日と考えられた。Fig.2a から推定された 1,300 m 地点の最大積雪深は 335cm であった。しかし、Fig3 の結果から 1,300m 地点での積雪深が祭時と同様に低下すると仮定すると、消雪日は 5 月 4 日となり実際の東栗駒山頂の状況より早く消雪する結果となった。そこで、消雪日を地震発生前の 1 週間後 (6 月 21 日) として推定すると、最大積雪深は 583cm であった (Fig8b)。樹林限

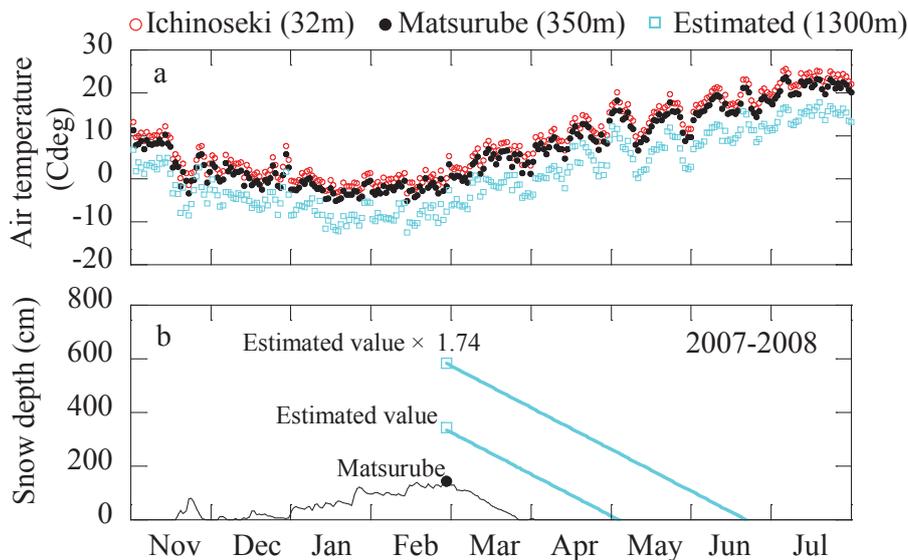


Fig. 8. (a) 一関、祭時、標高 1,300m 地点の気温、(b) 祭時の積雪深の変化、標高 1,300m 地点での融雪期の積雪深の推定値

(a) Air temperature at the Ichinoseki and Maturube sites, and the 1,300m altitude point, (b) snow depth at the Maturube site and the estimated snow depth at the 1,300m altitude point during snow melt season from 2007 November to 2008 July. Circle indicate the maximum snow depth.

界を越えた高山地帯では、地吹雪発生可能な限界風速7m/sを越える風速が頻度高く生じ、積雪は堆積と剝削を交互に受け空間的に変動が大きくなることが観測されている(山田ら,1979)。東栗駒周辺は樹林限界を越えた標高に位置し、崩壊斜面は奥羽山地脊梁の風下側にあたり、冬季の季節風によって多量の吹きだまりが形成される条件にあることが指摘されている(大丸ら, 投稿中)そこで、本研究では2007~2008年積雪期の高山地帯のASIを計算するに当たり、最大積雪深を583cmとした。

地震が発生した日を含む2007-2008年の祭時と1,300m地点でのASI₃₀の結果をFig9に示す。1,300m地点で推定されたASI₃₀は、4.0~320.0mm(49.5±65.1mm)で、祭時での値(3.1~136.4mm;19.6±18.3mm)より高い値を示した。地震が発生した日までの土湿状態について詳細に見る。1,300m地点において、根雪開始日と推定される11月12日から融雪が本格的に開始されたと推定された4月7日までのASI₃₀は、4.0~55.0mm(6.3±6.9mm)であった。期間中のASI₃₀の最大値は11月11日の降水(38.9mm)が降雨と判断された翌日の11月12日であった。融雪が本格的に開始した4月7日から地震が発生した6月14日までのASI₃₀は、7.8~320.0mm(120.9±80.2mm)で、100mm以上の高いASI₃₀が長時間持続していた。その要因は、継続的に50mmを超える降雨が推定され(4月18日:77.8mm、5月20日:200.0mm、6月5日:52.6mm、6月6日:110.5mm)、その降雨が融雪水に加算されASI₃₀が高くなっていった。地震が生じた6月14日のASI₃₀は

245.1mmで、祭時におけるASI₃₀(:18.0mm)と比較して非常に湿潤な状態であったと考えられた。以上から、高山地帯では、山麓とは大きく異なる土湿環境を呈すると考えられる。

安田・野口(2012)は、アメダス観測値を三次メッシュ(約1km×1km)に展開したデータを用いて、岩手・宮城内陸地震災害地における地震発生時およびその前後の気象の特徴について解析をした。岩手・宮城内陸地震による災害地は広範囲であり、メッシュデータは災害地全体の気象の特徴を明らかにするのに有効な情報である。一方、その解析結果によると融雪は地震発生の1週間前に終了しており、地震当日の災害地周辺の高山地帯(標高1,000以上)のAPI₃₀は、最大値が86.1mm、平均値が30.3mmであった。本研究結果と異なる理由の1つは、メッシュデータでは雪田など残雪が残る場所を評価することが困難なためと考えられた。また、山岳地域においてレーダーアメダス解析雨量は、実測データより過小評価されることが指摘されている(井良沢・遠藤,2010;山口ら,2010)。防災科学技術研究所では、地球温暖化の影響評価や水資源の問題に対応するために、標高1,000mを超える高山地帯を含む山地積雪ネットワークを構築して積雪の観測を実施している(阿部,1997;山口・阿部,2007)。しかし、震源地周辺を含め東北の内陸は網羅していない。今後、防災の観点からも積雪地域の高山地帯を網羅した気象観測は重要だと考えられる。また、近年、高山地帯を含めた広域の積雪深を把握するために、レーザプロファイラーによる計測が有効である(岡本ら,2004;Tsuboyama *et al.*, 2008)。高山地帯の積雪深の情報は、積雪地域の災害に対する対応を検討するために有益な情報になる。今後、レーザプロファイラーなどによってデータを得ることも重要だと考えられる。

謝辞

現地調査に際しては、東北森林管理局治山課および関係森林管理署のご協力を頂いた。本研究は、岩手・宮城内陸地震によって発生した土砂災害の特徴と発生機構に関する研究・独立行政法人森林総合研究所交付金プロジェクト(課題番号:200810)によって実施した。

引用文献

阿部 修(1997)山地積雪観測ネットワーク, 雪氷防災研究発表会講演予稿集, 13, 31-36.
 大丸裕武・村上 亘・小川泰浩・川浪亜紀子(投稿中)積雪が2008年の岩手・宮城内陸地震によってドゾウ沢源頭部で発生した深層崩壊に与えた影響, 森林総合研究報告.
 大丸裕武・安田正次(2009)地球温暖化と山地湿原, 地球環境, 14, 175-182.

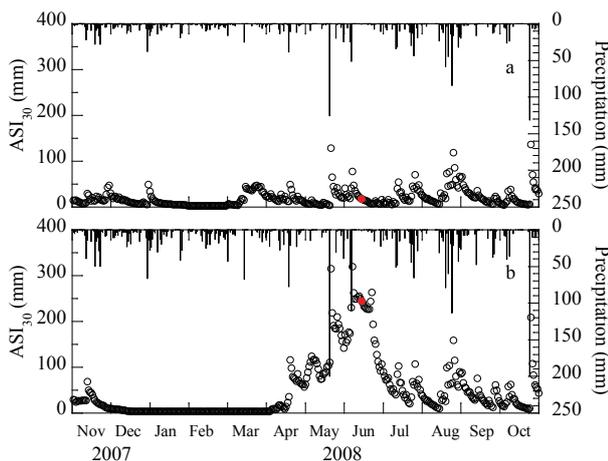


Fig. 9. (a) 2007-2008年の祭時における日降水量とASI₃₀、(b) 2007-2008年の標高1,300mにおける日降水量とASI₃₀ 赤丸印は地震が生じた日
 (a) Precipitation and ASI₃₀ at the Matsurube in 2007-2008 year, (b) Precipitation and ASI₃₀ at the 1,300 m altitude point in 2007-2008 year.
 Red circle symbols indicate the day when the earthquake occurred.

- 井良沢道也・遠藤周作(2010), 高標高山岳地における土石流発生危険雨量の検討ー岩手山御神坂沢流域を対象としてー, 岩手大学演習林報告, **41**, 205-218.
- Ishihara, Y. and Kobatake, S. (1979) Runoff model for flood forecasting. 京都大学防災研究所報告, **29**, 27-43.
- 河島克久・和泉薫・伊豫部勉(2005) 中越地震と豪雪がもたらした複合災害、p164-170, 新潟県連続災害の検証と復興への視点ー 2004.7.13 水害と中越地震の総合的検証一、新潟大学、中越地震新潟大学調査団、災害復興科学センター。
- 気象庁(2010) ”過去の気象データ“, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, (参照 2010-08-31)。
- 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所・独立行政法人建設研究所(2008) 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震被害調査報告、239pp. 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所・独立行政法人建設研究所発行
- Kosugi Y., Mitani, T., Itoh, M., Noguchi, S., Tani, T., Matsuo, N, Takanashi, S., Ohkubo, S. and Abdul Rahim, N. (2007) Spatial and temporal variation in soil respiration in a Southeast Asian tropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, **147**, 35-47.
- Mosley MP. (1982) Subsurface flow velocities through selected forestsoils, South Island, New Zealand. *Journal of Hydrology*, **55**, 65-92.
- 村上 亘・大丸裕武・江坂文寿(投稿中) 2008年岩手・宮城内陸地震後に発生した2次的な斜面崩壊の地形・地質的特徴, 森林総合研究報告。
- Negishi JN., Noguchi, S., Sidle, RC, Ziegler, AD., Abdul Rahim, N. (2007) Stormflow generation involving pipe flow in a zero-order basin of Peninsular Malaysia. *Hydrological Processes*. **21**, 789-806.
- 野口正二・三森利昭・多田泰之・安田幸生(2010)2008年岩手・宮城内陸地震前後における災害地周辺の先行土湿, 新砂防, **63**, 39-43.
- 小川真由美・野上道男(1944) 冬季の降水量形態の判別と降水量の分離, 水文水資源学会誌, **7**, 421-427.
- 太田岳史(1989) 気温および降水量による山地積雪水量の経時変化の推定, 雪氷, **51**, 37-48.
- 岡田憲治(2007) 土壌雨量指数による土砂災害発生危険度予測の現状, 土と基礎, **55**, 4-6.
- 岡田憲治(2006), 土壌雨量指数と斜面崩壊, 15-18, 新潟県中越地震の斜面複合災害のモニタリングに関する研究, メカニズム、維持管理、生態系、廃棄物等の総合的斜面工学からの検討, 社団法人土木学会, 地盤工学委員会, 斜面工学研究小委員会, 141pp.
- 岡本 隆・黒川 潮・松浦純生・浅野志穂・松山康治(2004) 山地の積雪深分布計測における航空レーザスキャナの適用に関する検討, 水文・水資源学会誌, **17**, 529-535.
- 三森利昭・大丸裕武・黒川 潮・岡本 隆・村上 亘・多田泰之・岡田康彦・野口正二・安田幸生・浅野志穂・大野泰宏(2010) シリーズ「近年の土砂災害」2008年岩手・宮城内陸地震による土砂災害, 水利科学, **314**, 105-127.
- 三森利昭・多田泰之・村上亘・大丸裕武・安田幸生・野口正二(2012) 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震による土砂災害の概要とその特徴, 森林総合研究所研究報告, **11(3)**, 97-120.
- 水津重雄・山田知充・若浜五郎(1978) 手稲山における積雪の堆積と雪質の変化, 低温科学, 物理篇, **37**, 47-54.
- 富田陽子・桜井 亘・中 庸充(1996) 六甲山系における地震後の降雨による崩壊地の拡大について, 新砂防, **48**, 15-21.
- 東北森林管理極(2008) 岩手・宮城内陸地震に係る山地災害対策検討会報告書, 東北森林管理局, 141pp.
- Tsuboyama, Y., Shimizu, A., Kubota, T., Abe, T., Kabeya, N., Nobuhiro, T. (2008) Measurement of snow depth distribution in a mountainous watershed using an airborne laser scanner. *Journal of Forest Planning*. **13**, 267-273.
- 山田知充・西村 寛・水津重雄・若浜五郎(1978) 大雪山旭岳西斜面における積雪の分布と堆積・融雪過程, 低温科学, 物理篇, **37**, 1-12.
- 山田知充・西村 寛・水津重雄・若浜五郎(1979) 大雪山の積雪量分布, 低温科学, 物理篇, **38**, 63-71.
- 山口 悟・阿部 修(2007) 平成18年豪雪における山地積雪の特徴ー近年の山地積雪の変動の中でー, 雪氷, **69**, 53-59.
- 山口 悟・本吉弘岐・中井専人・阿部 修・根元柁樹(2010) 山地観測データを用いた山地冬季解析雨量の精度評価, 日本気象学会大会講演予稿集, **98**, 120.
- 安田幸生・野口正二(2012) 岩手・宮城内陸地震災害地における2008年の気象と山地積雪水量分布の特徴, 森林総合研究所研究報告, **11(3)**, 135-150.