■積雪融雪期に変動する大規模地すべりの事例

On the movement of a large-scale landslide during snow and snowmelt season

山田知寛* Tomohiro YAMADA／日本工営株式会社 Nippon Koei Co., Ltd

光永健男 Takeo MITSUNAGA／国土交通省東北地方整備局新庄河川事務所

Shinjo River Office, Tohoku Regional Development Bureau, Ministry of Land, infrastructure, Transport and Tourism

鳴原吉隆 Yoshitaka SHIGIHARA／国土交通省東北地方整備局新庄河川事務所

Shinjo River Office, Tohoku Regional Development Bureau, Ministry of Land, infrastructure, Transport and Tourism

窪田敏一 Toshikazu KUBOTA / 国土交通省東北地方整備局新庄河川事務所

Shinjo River Office, Tohoku Regional Development Bureau, Ministry of Land, infrastructure, Transport and Tourism

矢倉広和 Hirokazu YAKURA / 国土交通省東北地方整備局新庄河川事務所

Shinjo River Office, Tohoku Regional Development Bureau, Ministry of Land, infrastructure, Transport and Tourism

松尾新二郎 Shinjiro MATSUO / 日本工営株式会社 Nippon Koei Co., Ltd

キーワード：積雪期，融雪期，大規模地すべり，積雪荷重

Key words : snowy season, melting snow period, large-scale landslide, snow load

1. はじめに

冬季間の積雪深が数メートルを超えるような豪雪地帯の地すべり地では、降雨のみならず融雪期がすべり面への間隙水圧の上昇をもたらし、地すべり変動が活発化するとされてきた。近年では、豪雪地帯においても通年での観測データが取得できる体制構築がなされ、融雪期で

はなく積雪初期から変動するような地すべりの事例が確認されてきている¹⁾。ここでは、豪雪地帯として知られる山形県東田川郡庄内町（立谷沢川流域濁沢川）において積雪初期から融雪期にかけて継続的に変動が確認されていることから、地すべり変動機構に関する考察を報告するものである。

立谷沢川水系濁沢川は、図－１に示す山形県の月山北側山麓に位置しており、土砂生産が活発なことから、1937年より直轄砂防事業が展開されており、砂防堰堤の整備などが実施されている。濁沢川沿いは、図－２に示す地

图-1 位置图

図-2 地すべり地形分布図³⁾

* 連絡著者／corresponding author
〒980-0803 仙台市青葉区国分町3-1-11
Kokubuncyou 3-1-11, Aobaku, Sendai, Miyagi

すべり地形分布図のとおり, 対象箇所周辺を含め大規模地すべり地形が密集する地すべり地帯である。2011年5月22日には, その上流域で最大幅340m, 長さ250m, 最大深さ70m, 移動土塊量190万 m^3 の大規模地すべり(右岸側: 池ノ台地区)が発生した²⁾。その後, その対岸である左岸側: ヤケノ沢地区においても林道に変状が確認され, 2014年度からボーリングや動態観測などの本格的な調査観測を実施している。

2. 地形・地質概要

2.1 濁沢川周辺の地形地質概要

濁沢川は, 月山(標高1984m)の山頂部より北方約2kmの標高約1600m付近を源流として, 立谷沢川支川本沢との合流地点までの約6.5km区間である。月山山頂付近は溶岩に覆われたなだらかな地形を成すが, 谷頭浸食が及ぶ範囲では急峻な地形を呈している。濁沢川周辺の地質は, 新第三紀中期中新世の月山累層(玄武岩, 安山岩, 石英粗面岩の溶岩および火砕岩)と, 第四紀更新世の月山火山噴出物(溶岩)および火山泥流堆積物が分布する。濁沢川を含めた立谷沢川流域全体は, 第四紀の月山火山噴出物が広く分布していることや, 主に立谷沢川の流下方向に一致する南北性の断層に起因すると考えられる地盤の破碎, さらに熱水変質による粘土化などによって崩壊や地すべりが多発する地帯として知られている。

2.2 ヤケノ沢地区概要

ヤケノ沢地区周辺は, 図-2に示すとおり, 地すべり地形が数多く存在しており, 記録に残る大規模な地すべり滑動としては, 1975年代以降でも約10箇所存在している。

ヤケノ沢地区は標高570m付近の濁沢川左岸に位置し, 1992年頃に上流側の末端側方部で地すべり滑動が認められて以降, 断続的に地すべり滑動が確認されてきた。その後, 2013年7月の豪雨により, 濁沢川に面する地すべりブロックの一部において崩壊が発生し, 地すべり地内を通る林道付近で段差や亀裂等の変状が顕在化し, GPS観測, 地盤伸縮計, 調査ボーリング, パイプ歪計, 地中伸縮計, 地下水位計などによる調査観測が順次開始された。ヤケノ沢地区周辺の気象条件は非常に厳しく, 現地立ち入りが可能な期間が限られている。例年11月初旬頃から降雪し始め, 積雪ピークを迎える2月頃では, 最大積雪深さは4~5mに及ぶ。融雪は例年3月初旬頃から始まり, 6月上旬頃まで残雪する。このことから, 観測機器は半年近く維持管理ができない厳しい環境下に置かれている状況である。

ヤケノ沢地区の地すべりブロックは, 表-1および図-3に示すように大きく4つに区分される。最も巨大なブロックは, 馬蹄形の明瞭な滑落崖が分水界まで達する巨大地すべり地形(Eブロックと呼ばれ, 幅約900m, 長さ約700m, 推定移動土塊量約6,930万 m^3)を呈する。Eブロックの谷側には明瞭な遷急線が認められ, その遷

表-1 地すべりブロック区分一覧表

ブロック規模	ブロックNo.	位置		隣接ブロックとの関係	地すべり規模				
		頭部標高	末端標高		最大長さ(m)	最大幅(m)	推定最大層厚*1(m)	面積*2(m ²)	推定移動土塊量*3(m ³)
超大ブロック	E	870~900	670~690	・D1上部を包含 ・D2上部を包含 ・D3上部を包含 ・D4上部を包含 ・Fを包含	700	900	110	630,000	69,300,000
大ブロック	D1	790~800	565~570	・B2を包含 ・A2の一部を包含	500	200	60	100,000	6,000,000
	D2	790~800	590~600	・A2を包含 ・C2の一部を包含	430	230	60	98,900	5,934,000
	D3	825~835	595~600	・C2を包含	450	170	35	76,500	2,677,500
	D4	820~825	565~585	・D1を包含 ・D2を包含	570	420	60	239,400	14,364,000
中ブロック	A2	655~660	570~595	・A1を包含 ・B2の一部を包含 ・B1を包含	200	300	45	60,000	2,700,000
	B2	660~665	565~570	・B1を包含	170	180	25	30,600	765,000
	C2	700~710	590~600	・C1を包含	190	180	25	34,200	855,000
小ブロック	A1	640~645	580~590	—	150	175	40	26,250	1,050,000
	B1	630~635	565~570	—	90	110	15	9,900	148,500
	C1	695~700	590~600	・C3を包含	140	90	15	12,600	189,000
	C3	670~675	590~600	—	100	60	10	6,000	60,000
	F	705~710	680~685	—	110	80	10	8,800	88,000

調査観測実施ブロック

*1: 調査ボーリング結果及び地すべり最大幅の1/7~1/10より推定

*2: 最大幅×最大長さで算出

*3: 面積×推定最大層厚で算出

図-3 ヤケノ沢地区周辺の陰影図

図-4 ヤケノ沢地区末端ブロック群平面図

図－５ 針貫入試験結果（左：BV26－１，中：BV26－２，右：BV26－３）

図－６ 破碎度区分の評価方法⁴⁾

急線沿いを頂部としてDブロック群が分布する。Dブロック群の各ブロックは幅約200～400m、長さ約400～500mと推察され、Dブロック群の末端部には、濁沢川に面して末端ブロック群（A,B,Cブロック）が分布する。これらは現地踏査による変状等を踏まえ、さらに、A1,A2,B1,B2,C1,C2,C3に細分される。また、D3ブロックの側部には濁沢川に面していないが、末端ブロック群と同規模の地すべり地形（Fブロック）が存在する。現在は、図－４に示すとおり、末端ブロック群（A,B,Cブロック）に対して調査観測を継続している状況である。

2.3 地下構造特性（すべり面）の評価

Aブロックのボーリングコアのすべり面を判定するため、図－４に示すBV26－１，BV26－２，BV26－３孔のボーリングコアを用いて10cmピッチの針貫入試験（土木学会「軟岩の調査・試験の指針，1980年１月」に定められた針貫入試験法に準拠した軟岩ペネトロ計SH－70：株式会社丸東製作所製を使用。）を実施し、コアの硬軟を

定量的に評価した。

針貫入試験の結果は、図－５に示すとおりである。BV26－１孔は深度17～23mと24～34m付近、BV26－２孔は深度39～48m付近、BV26－３孔は深度45～50m付近で、換算一軸圧縮強度がほぼゼロに近い値が点在しており、地質性状としては連続する軟質劣化部となっている。

次に、ボーリングコアからすべり面を判定するため、図－６に示した破碎度区分を基に、針貫入試験で地質性状が連続して軟質劣化している部分のボーリングコアを詳細に観察・スケッチして破碎度を評価した。図－６の区分例では、より右側の状態ほど破碎度が強く、粘土化が進んだ状態であり、すべり面の可能性が高いと評価される。当地区の代表的なボーリングコアの破碎度区分は図－７に示すとおりである。また、コアスケッチを基に破碎度区分を実施した結果の一部を図－８に示す。

CI評価のうち、山谷方向で連続性がよく、観測結果から変動が確認された深度を想定すべり面として評価した。

BV26－１孔におけるコア観察から推定される想定すべり面（CI）は、以下の深度と評価した。いずれの深度も粘性が強く攪乱された粘土である。

①深度32.80～33.00m：非常に粘性の強い緑色を帯びた粘土。粒子は細粒化している（写真－１参照）。

②深度35.40～35.80m：非常に粘性の強い緑色を帯びた粘土。粒子は細粒化している。

BV26－２孔におけるコア観察から推定される想定すべり面（CI）は以下のとおりである。この他の深度にも礫混じり粘土状の部分は所々介在するが、本区間は粒子破壊が進行し、すべり面として最も可能性が高いと評価

図-7 ヤケノ沢地区のボーリングコアの代表的な破砕度区分

図-8 コア写真とコアスケッチによる破砕度区分例 (BV26-1 の深度26~41m)

写真-1 BV26-1 (深度32.80~33.00m) 近景

写真-2 BV26-2 (GL-47.05~47.20m) 近景

した。

- ・深度47.05~47.20m: 非常に粘性の強い緑色を帯びた粘土。粒子は細粒化している。(写真-2参照)
- BV26-3 孔におけるコア観察から推定される想定す

べり面 (C1) は以下の深度と評価した。いずれの深度も粘性が強く攪乱された粘土である。

- ①深度47.30~47.65m: 非常に粘性の強い緑色を帯びた粘土。粒子は細粒化している。

写真-3 BV26-3 (GL-48.45~48.80m) 近景

- ②深度48.45~48.80m: 粘性の強い緑色を帯びた粘土。
 粒子は細粒化し、丸みを帯びている。(写真-3参照)
 以上より、針貫入試験の結果とコア観察・コアスケッチによる破碎度区分の結果を踏まえると、当然、定量的に軟質な劣化部が連続する深度は、ボーリングコアの破碎度が強く粘土化の進行が顕著な部分とほぼ一致しており、すべり面の可能性が高いと評価できる。

3. 積雪期・融雪期の地すべり変動特性

3.1 観測結果からの変動特性

ここでは、ヤケノ沢地区Aブロックについて通年で観測している地盤伸縮計、パイプ歪計、地中伸縮計、地下水位計の積雪期・融雪期の変動特性について述べる。対象箇所の地すべり断面図を図-9に示す。地盤・地中伸縮計の換算月変動量を表-2に、パイプ歪計の換算月変

動量を表-3に、個々の観測結果の総括図を図-10に示す。なお、ここでは、図-11の積雪深データ等に基づき、便宜的に積雪期: 12.1~2.28, 融雪期: 3.1~5.31, 非積雪・融雪期: 6.1~11.30とする。変動区分の判定基準の凡例は、表-4に示す。

地盤伸縮計SL-6 (末端ブロック群の中央部のA1ブロック頭部に設置) は、積雪・融雪期にかけて顕著な変動が認められ、変動区分B~C相当の変動を示す。積雪期以降で変動が顕在化して融雪期で加速し始め、残雪がほぼ消雪する5月上旬頃が最も加速し、融雪期の終わりと共に変動が緩慢になり、その後は変動区分C相当の動きが継続する。SL-9は、2016年度設置箇所のため、今後、積雪融雪期のデータが取得される予定である。

BV26-1は、歪計設置直後からすべり面付近のGL-33mで変動が認められ、積雪・融雪期で変動区分B相当の変動となり、残雪がほぼ融ける5月上旬頃に変動が緩慢となる。その後、緩慢な変動が継続した後、2016.11.7に断線し、計測不能となった。地中伸縮計は、融雪期から僅かに引張変動が認められ、ほぼ融雪が終わる5月前半頃から圧縮変動へと回帰傾向を示し、累積性は乏しい。地下水位は、融雪期にわずかに上昇ピークを迎える。2016年2月初旬から下旬にかけての水位上昇は、活発な地すべり変動に伴う地下水流動経路の変化などの原因が考えられる。

BV26-2は、歪計設置直後からすべり面付近のGL-47mで変動区分A相当の変動が認められ、2015.12.5に断

図-9 A測線断面図

表-2 地盤・地中伸縮計 換算月変動量

凡例区分	年月日	SL-6(地盤)	BV26-1(地中)	BV26-2(地中)	BV26-3(地中)
非積雪・融雪期	2015.6.1 ~ 2015.11.30	0.55	0.00	0.07	0.06
積雪期	2015.12.1 ~ 2016.2.29	1.93	0.07	1.45	0.07
融雪期	2016.3.1 ~ 2016.5.31	4.88	0.89	22.45	2.20
非積雪・融雪期	2016.6.1 ~ 2016.11.30	1.09	-4.34	6.05	4.54
積雪期	2016.12.1 ~ 2017.2.15	2.68	2.48	16.04	10.32
備考	-	-	2015.9.4 観測開始	2015.9.5 観測開始	2015.8.20 観測開始

表-3 パイプ歪計 換算月変動量

凡例区分	年月日	BV26-1 深度33m	BV26-2 深度47m	BV26-3 深度49m
非積雪・融雪期	2015.6.1 ~ 2015.11.30	441	6058	45
積雪期	2015.12.1 ~ 2016.2.29	1426	7205	-2
融雪期	2016.3.1 ~ 2016.5.31	1388	-	-143
非積雪・融雪期	2016.6.1 ~ 2016.11.30	420	-	11
積雪期	2016.12.1 ~ 2017.2.15	-	-	-
備考	-	2015.8.21観測開始 2016.11.7断線	2015.8.20観測開始 2015.12.5断線	2015.8.20観測開始 2016.8.5断線

図-10 Aブロック パイプ歪計・地中伸縮計・地下水位計 総括変動図

積雪深さ

(cm)

※1 回帰統計の重相関率が1.0に近いほど相関が高いことを示す。

※2 変数A(現地観測 積雪深)と変数B(肘折観測所 積雪深)の相関性を示す。

図-11 現場と近傍観測所の積雪深の相関

表-4 変動区分判定基準一覧表

凡例区分	変動A	変動B	変動C
活動性	活発に運動中	緩慢に運動中	潜在的な変動
伸縮計換算月変動量 (mm/月)	10以上	2~10	0.5~2
パイプ歪計換算月変動量 (μ/月)	5,000以上	1,000以上	100以上

※「地すべり防止技術指針及び同解説, 国土省砂防部(2010), H20.4」を参考にして作成

線し, 2016.1.15にGL-50mが断線した。地中伸縮計は, 2016年3月頃の積雪量がピークの時に変動を開始し, 融雪期に加速する変動が認められる。ただし, 2016年12月頃からの積雪期以降でも変動が活発化する傾向が認められる。地下水位は, 非積雪・融雪期は雨に連動し, GL-32~33mで安定しているが, 融雪期に入りGL-30m付近まで上昇して維持し, 融雪が終わる5月下旬にかけて安定した水位となる。

BV26-3は, 歪計設置以降, 目立った変動は認められなかったが, 融雪期の地下水位がピークを迎える頃にGL-49mで変動区分C相当の変動が認められ, その後融雪の終わりとともに緩慢になり, 2016.8.5に断線した。地中伸縮計は, 融雪期から変動を開始し, その後, 非積雪・融雪期では変動区分C相当の変動が継続して, 積雪期に入り加速する変動が認められる。地下水位は, 非積雪・融雪期は雨に連動し, GL-25~26mで安定しているが, 融雪期に入りGL-20m付近まで上昇して維持し, 融雪が終わる5月下旬にかけて安定した水位となる。

以上より, 全体の変動傾向は次のようにまとめられる。

- ・非積雪・融雪期においても変動は継続しており, 積雪・融雪時期に変動が加速する傾向にある。
- ・融雪時地下水位のピーク(2016.5.3)から地下水位低下と共にすべり面付近の変動が緩慢になるが, 変動は継続している。
- ・積雪初期から局所的に変動が顕在化し始め, 地すべり活動が活発化する傾向が認められる。
- ・当地区は緩慢な地すべり変動が継続し, 融雪時期の地下水位上昇と共にA1ブロックとA2ブロックが一体となって最も不安定化する。

これまでの積雪地の地すべり変動は, 融雪による水位上昇に起因することが一般的とされてきたが, 近年, 通年観測結果から得られた知見では, 積雪期から変動が活発化する地すべりも確認されている^{1), 5), 6), 7)}。当地区においても全てのデータではないが, 積雪期から変動が活発

写真-4 右岸側（池ノ台地区）からのヤケノ沢地区全景および積雪状況（2016. 5. 10）

表-5 安定解析条件一覧表

項 目	条件	根拠
解析測線	A測線	地すべりブロックの中心付近
計算式	修正 Fellenius法	地すべり防止技術基準指針及び同解説、国交省砂防部ほか、2008. 4, P55
初期安全率	0.95	観測結果より、融雪時の変動のピークは変動A～B。
移動土塊単位 体積重量 (γ)	18kN/m ³	一般的な地すべり土塊。(地すべり防止技術基準指針及び同解説、国交省砂防部ほか、2008. 4, P57)
地下水位	2016. 5. 3融雪時	融雪時の最高水位
粘着力 (C)	25. 0kN/m ²	最大鉛直層厚25m以上。(地すべり防止技術基準指針及び同解説、国交省砂防部ほか、2008. 4, P57)
内部摩擦角 (ϕ)	6. 1675°	逆算

表-6 安定解析結果一覧表

検討時期	水位条件	ケース1 雪荷重無	ケース2 雪荷重有	雪荷重有無の 安全率差分	積雪深 (cm)	雪密度 (g/cm ³)
平常時	2015/9/15	0.982	—	—	0	—
積雪ピーク	2016/2/2	0.984	0.978	0.6%	352	0.3
融雪ピーク	2016/5/3	0.950	0.946	0.4%	139	0.5
積雪融雪の 安全率差分	—	3.4%	3.2%	—	—	—

化するデータが得られていることから、融雪による地下水上昇以外の要因により、地すべり変動が活発化している可能性がある。

3.2 安定解析による積雪荷重の影響分析

積雪期における地すべり変動機構に関する研究では、佐藤ほか（2004）によれば、第三紀層地すべりは融雪期以前に融雪による地下水上昇とは別の要因で変動が開始している可能性があることを指摘している⁵⁾。また、岡本ほか（2008）によれば、積雪期の浅層地すべりの変形機構は、積雪荷重がすべり面のせん断強度の増加を促し積雪期の変形や変位を抑制していることなどを指摘している⁶⁾。これらにおいて、積雪期から融雪期にかけた地すべり変動は、積雪荷重や気温変動などの複数の要因が重なった結果、変動する誘因が形成されていることを示唆している。当地区は積雪期以外でも緩慢な変動をしながら、積雪期から変動が加速し、融雪期に変動量が最大となる特徴を有しており、積雪期に変動が加速する要因として、積雪荷重の影響について評価した。

二次元安定解析により積雪荷重がどの程度安全率に影響を与えるかを確認するため、ケース1：積雪荷重無し、ケース2：積雪荷重有り、として試算した。安定解析のモデルは、A測線の断面図である図-9のA2ブロックとした。図-11に示すとおり、積雪深観測は、現地観測

データが2013年11月～2014年6月の期間存在することから、同期間の肘折観測所での観測値との相関をとり（相関係数：0.940）、肘折観測所の積雪深と現場の積雪深の差分平均積雪深1.4mを肘折観測所データに加えた値を解析に用いる積雪深とした。肘折観測所で積雪が完全に消雪する5月初旬において、2016年5月初旬の現場周辺で約1～2mの積雪深が確認されたことから積雪深の設定は概ね妥当と判断した。

積雪荷重は、ブロック全体に等分布荷重として与え、末端遷急線より下方斜面については、写真-4のとおり急崖であるため、積雪しにくい現地状況と判断し、積雪荷重を載荷しない条件とした。雪密度は、積雪時期における密度変化を考慮し、最深積雪期と融雪最盛期の一般的な値を採用した⁸⁾。その他の安定解析条件は、表-5に示すとおりとした。計算式は、一般的な地すべり安定解析の考え方を踏襲し、修正フェレニウス法を採用した。初期安全率は観測結果からの活動度を踏まえ、融雪ピーク時（最高水位2016. 5. 3）を $F_{so}=0.95$ と設定した。

これらの条件を基に試算した結果、表-6に示すとおり、積雪ピーク時と融雪ピーク時を比較すると安全率は3.2～3.4%の低下に対して、雪荷重を考慮した場合の安全率は、0.4～0.6%の低下にとどまる。したがって、当ブロックでは、上載荷重として作用する積雪荷重が地すべり変動の主要因となる可能性は小さいと考えられる。

4. まとめ

以上より、ヤケノ沢地区は、非積雪・融雪期には緩慢な地すべり活動が継続し、積雪初期から徐々にその活動が活発化し、さらに、融雪期にそのピークを迎える地すべり変動特性であることが明らかになった。その変動特性に影響を与えている可能性があると考えた積雪荷重は、安定解析結果によれば地すべり変動に僅かに影響を与える程度の結果となった。この理由としては、一つは地すべり規模（移動土塊）が大きいこと、二つ目はすべり面勾配が緩いことが影響していると考えられる。豪雪地域での大規模地すべりまたはすべり面勾配が緩い地すべりでは、積雪荷重が地すべり変動の活発化の主要因とならない可能性がある。

積雪荷重による上載荷重の増加以外に積雪期から加速する地すべり変動の要因としては、①積雪初期段階の浸

透水の増加による地下水上昇, ②積雪初期の凍結・融解による末端斜面の浸食進行, ③温度低下によるすべり面強度の低下, ④豪雪地での観測計器の設置・測定における積雪そのものの影響などが考えられ, 今後データを蓄積しながらこれらの要因解明に取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 公益社団法人日本地すべり学会東北支部 (2016): 平成28年度シンポジウム「積雪・融雪と地すべりーその不思議な挙動の解明と危険度予測を目指してー」, <http://japan.landslide-soc.org/branch/tohoku/entry/task/report/2016symp.pdf> (参照日2017年5月30日)
- 2) 花岡正明・黒沼俊一・佐藤直行・網木亮介・山田孝雄・秋山一弥 (2012): 立谷沢川流域濁沢川で生じた深層崩壊の発生機構について, 第61回平成24年度砂防学会研究発表会概要集, pp. 244-245.
- 3) 防災科学技術研究所 (1987): 地すべり地形分布図, 第5集「青森・仙台」, 月山, http://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied_tech_note/landslidemap/shared/pdfview/series05/pdf5740/013.pdf (参照日2017年5月30日)
- 4) 脇坂安彦・上妻睦男・綿谷博之・豊口佳之 (2012): 地すべり移動体を特徴づける破碎岩, 応用地質, 第52巻, 第6号, pp. 231-247.
- 5) 佐藤壽則・白石秀一・伊藤俊方 (2004): 積雪期における新潟県内の第三紀層地すべりの運動特性, 日本地すべり学会誌, Vol. 41, No. 1, pp. 37-42.
- 6) 岡本隆・松浦純生・浅野志穂 (2008): 積雪地域における浅層地すべりの変形機構, 日本地すべり学会誌, Vol. 44, No. 6, pp. 20-30.
- 7) 木村諒・畠田和弘・桂真也・丸山清輝・秋山一弥 (2014): 2012年積雪期に発生した国川地すべりの運動特性, 日本地すべり学会誌, Vol. 51, No. 4, pp. 12-22.
- 8) 全日本建設技術協会 (2016): 平成28年災害手帳, pp. 492. (原稿受付2017年6月12日, 原稿受理2017年10月12日)