

GIS を活用した傾斜地水田における指標のマップ化

正田大輔*・川本 治*

目 次

I 緒 言	1	VI 流入・流出指標および防災指標の評価	5
II 調査対象現地の概要	1	VII 結 言	6
III 解析の概要	2	参考文献	6
IV 浸透水流入・流出指標の評価とマップ化の手法	2	Summary	7
V 浸透水流動指標のマップ化	3		

I 緒 言

少子高齢化や担い手の減少による農地・農業用水等の資源管理にかかる人的制約や、気候変動に伴う渇水・洪水等の災害リスクの増大などの問題が懸念されるなかで、農村が持つ潜在力を最大限に引き出し、地域を活性化・再生していくことが課題となっている。近年の北陸農政局（2006）の報告では、農業の生産活動や農地管理が継続的に行われることにより、土砂崩壊の防止も含めた、いわゆる多面的な機能を維持・増進させることが注目されている。一方で、耕作放棄率が50%以上になると耕作放棄率が10%未満の時より約4倍の確率で地すべり災害が生じることも、北陸農政局（2006）により報告されている。また同局は、乾燥型耕作放棄地と湿潤型耕作放棄地について、地下水位変動や耕盤の亀裂などの調査を行い、地すべりの発生機構の検討も行っている。

今後も、継続的な営農活動あるいは、中山間地域での担い手の減少が土砂災害にどのような影響を及ぼすのかという知見を蓄積する必要がある。このような傾斜地水田における既往の研究として、川本ら（2010）は、浅層浸透解析により傾斜地水田の防災管理指標をマップ化している。このマップをGIS上でわかりやすく普及させていくことは、意義のあることと考えられるが、国土地理院の基盤地図情報（数値標高モデル）10mメッシュ（標高）などを解析に使用する場合の結果の信頼性については不明であり、防災管理マップの普及を図るためにはGIS適用技術の検討とあわせて、解析結果のメッシュ依存性の検討を行う必要がある。

本報では、集中豪雨の影響を、土質などの現場条件と地形条件、浅層地下水流動を用いて浸透シミュレーシ

ンを行った。そのシミュレーションから得られる浸透水流動指標を用いて、GISを活用した防災管理マップの作成技術の検討と、メッシュサイズを変えた浸透水流動指標の定量評価を行った。

なお、本報をまとめるにあたり、石川県中能登農林総合事務所、七尾市農林水産課、小栗地区地権者各位から多大なご協力を得た。さらに、現地で使用したGPS測量方法について施設資源部基礎地盤研究室 黒田清一郎博士に懇切丁寧にご指導戴いた。関係者各位に感謝の意を表する。

II 調査対象現地の概要

対象地区は、Fig.1の青枠で囲われた石川県七尾市小栗町内の、片田地区と大島・前田地区である。Fig.1中には、以下の3つのデータについてESRI® ArcGIS™ 9.3.1のkml変換ツールにより作成されたファイルをGoogle Earth™上に貼り付けている。データは、(財)日本水土総合研究所の日本水土図鑑GISから農業集落界位置と平成10年3月31日時点で農林水産大臣が指定した地すべり防止区域、国土地理院の基盤地図情報（数値標高モデル）10mメッシュ（標高）石川である。小栗町は、中山間地域に位置する傾斜地水田がある集落である。担い手の減少や営農者の高齢化により、耕作地と耕作放棄地が点在している。また、赤枠で示す地すべり防止区域内にも含まれている。これらのことから、浅層における地下水流動の浸透解析から得られる、農業生産基盤の防災・管理上の指標について検討する上で、有用な現地と考えられる。

また、現在、小栗町片田地区において石川県の里山利用・保全プロジェクトに関連して、水土保持システムの構築等を地域住民や県民にわかりやすく説明するための各種調査が行われている。ここでは、その一環として土砂崩壊防止機能の維持・増進を目的とした浅層地下水流

* 農村総合研究部

平成23年1月19日受理

キーワード：防災管理, マップ, 流入・流出指標, 傾斜地水田

動(浸透)シミュレーションによる浸透水流動指標のマップ化と定量評価を行っている。

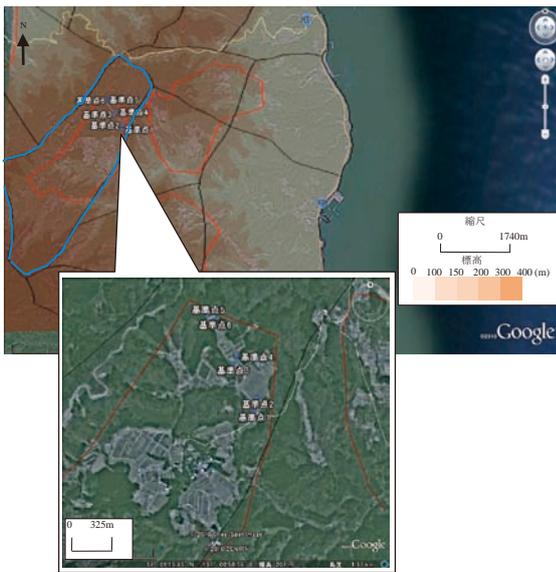


Fig.1 調査対象地区の周辺地図
Map around analysis conducted area

III 解析の概要

石川県七尾市小栗町の事例地区の周辺では平成19年10月15～16日の豪雨時(日雨量187mm, 時間雨量70mm)に山腹崩壊と溪流侵食が発生した。小栗地区全体は、このブロックに加えて大島・前田ブロックから構成されているが、これらのブロックでの浸透水流動指標の詳細は不明である。また、今後解析入力データとして用いることを考えている国土地理院の基盤地図情報(数値標高モデル)は、現時点において10mメッシュで4mよりも大縮尺となるので、ここでは大島・前田ブロックの4mメッシュと併せて、Fig.2に示す小栗地区の全域(片田及び大島・前田ブロック)における10m・20mメッシュによる解析結果との比較を行って、メッシュサイズが防災指標マップの表示結果に及ぼす影響を明らかにする。4m解析メッシュは、原則として2m間隔の等高線図や圃場区画平面図、これら二つの図で標高値が不明な部分については光波測量によりFig.1の6つの基準点を実測して作成した。10m・20mメッシュについては、4mメッシュデータをもとにメッシュを作成した。透水係数は、片田ブロックから採取した試料から実測された 1.42×10^{-5} cm/secを浅層浸透解析に用いている。なお、この解析領域の地質は(独)産業技術総合研究所の統合地質図データベースにおいて中-後期中新世(N2)の海成または非海成堆積岩類であった。

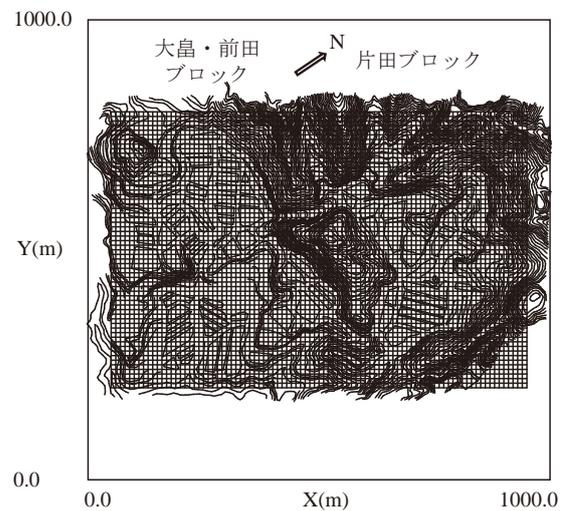
解析は、豪雨時に地表面まで飽和した状態を想定して、地下水位が地表面に達した状態になったものとする。解

析方法は、詳細な地形データを考慮した広域的な解析を効率よく実施できる田中ら(1987)が考案した動的緩和法を用いた川本ら(2010)が行った浸透解析を実施した。解析を行う際の境界条件として、豪雨時の浸透状況を推定するために地表面節点の浸透ポテンシャルを地表面標高と等値とする。側方境界からの流入・流出を許容するため、地表面以外の側方境界節点の浸透ポテンシャルも直上の地表面節点の標高値と置き換える。地盤深部の透水係数は未知であり、浅層での実測透水係数を用いて、均一型地盤と仮定して解析を行う。

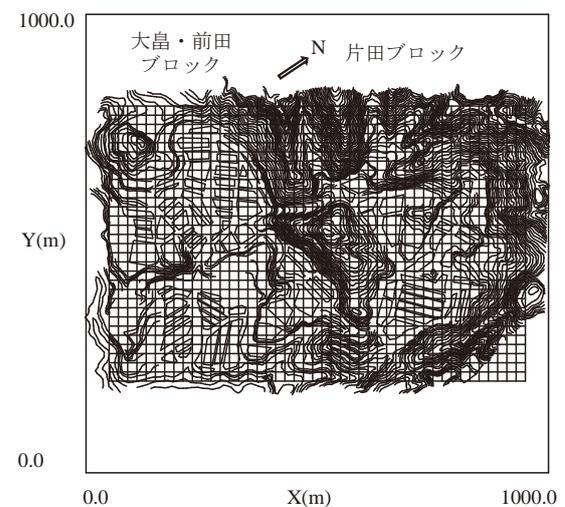
IV 浸透水流入・流出指標の評価とマップ化の手法

1 流入・流出指標の定義

豪雨時の浅層浸透水流動の浸透解析シミュレーションに基づいて以下の指標を評価する。



(a) 10m メッシュ



(b) 20m メッシュ

Fig.2 小栗地区の解析メッシュ
Analysis mesh in Oguri district

$$\text{浸透水流入指標} = \frac{\text{地表面直下各点における下降流速}}{4\text{mメッシュ下降流速最大値}}$$

$$\text{浸透水流出指標} = \frac{\text{地表面直下各点における上昇流速}}{4\text{mメッシュ上昇流速最大値}}$$

上式中の下降流速と上昇流速は、三次元浸透解析結果における流速ベクトルの、それぞれ鉛直方向下向き成分と鉛直方向上向き成分の絶対値である。両式とも分母には片田地区 4m メッシュの解析で上昇および下降流速が最大となる値の絶対値を用いた。豪雨時の浸透水流入指標と浸透水流出指標をマップ上に記入し、傾斜水田における防災・管理方式の検討を行う。

2 マップの作成方法

Fig.2 の座標系で得られる流入・流出指標を ArcGIS 上で世界測地系の度単位のデータと重ね合わせできるようにするため、以下の手順で緯度経度への変換を行った。

片田地区の **Fig.1** に示す 6 つの基準点で光波測量ならびにライカジオシステムズ社のスマートローバーで GPS 単独測位を行っている。GPS 単独測位では測地系 WGS84 での緯度経度と、メートル単位の直行座標を使用した。

- ①基準点 1-5 のラインを基線として、光波測量結果すなわち **Fig.2** の解析座標系から GPS 座標系の伸縮率を決定する。
- ②①で求めた距離を用いて、光波測量の基準点 1-5 のラインと GPS 測量の基準点 1-5 のラインのなす角を算出する。
- ③地球は GRS80 楕円体として、長半径 6378.137km、扁平率 f の逆数 298.257 として計算を行った。基準点 1 の緯度に合わせた地球半径を決定し、各緯度方向・経度方向の距離を上記の地球半径で除して \sin^{-1} の値を得る。このそれぞれの \sin^{-1} 値と、基準点 1 の緯度と経度の値をたし合わせ、各点の緯度・経度を算定する。
- ④しかし、③までの手順でのマップでは、**Fig.1** に示す 6 つの基準点で、GPS 単独測位により得られた緯度・経度値を持たせた小栗地区の地図と若干のずれが生じる。そこで、上記の小栗地区の地図で、各解析範囲での圃場の最大・最小経度と最大・最小緯度の座標値を読み取る。次に、③までの手順で得られている、各解析で上記の圃場に対応する緯度と経度の座標値を読み取る。最後に、最小経度座標値へ全データを平行移動し、緯度・経度の最大と最小座標値の差から得られる各方向の倍率と、緯度・経度方向の最小値から、最終的な座標値の決定を行った。

V 浸透水流動指標のマップ化

Fig.4 に、各メッシュサイズで実施した解析により得られた、圃場内に含まれる浸透水流動指標を GIS 上で

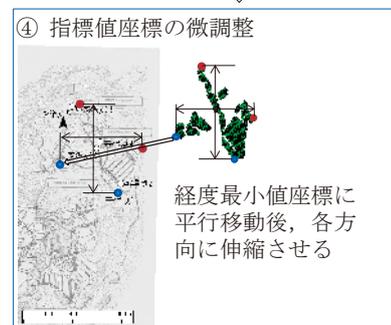
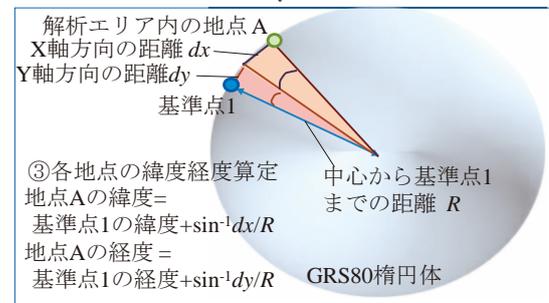
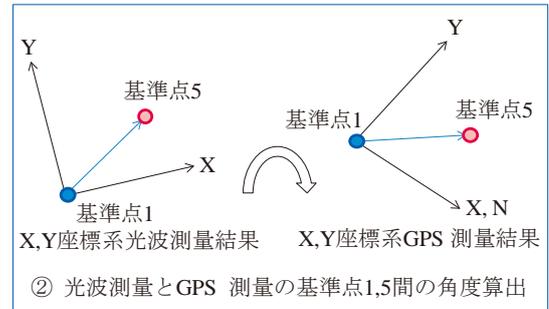
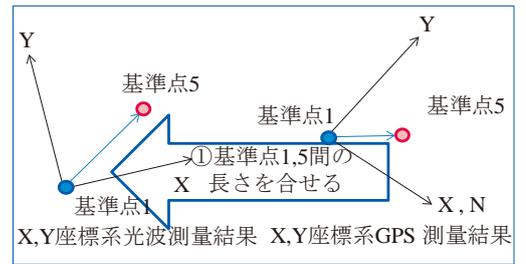
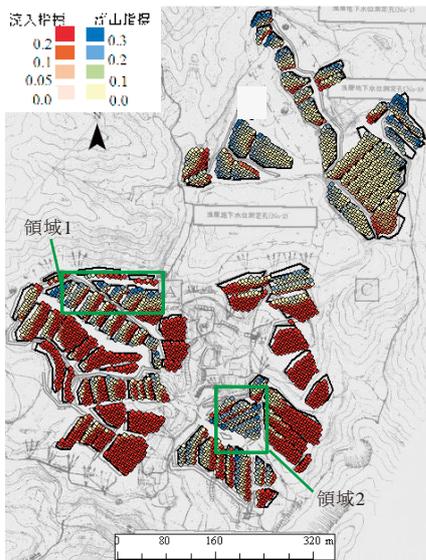


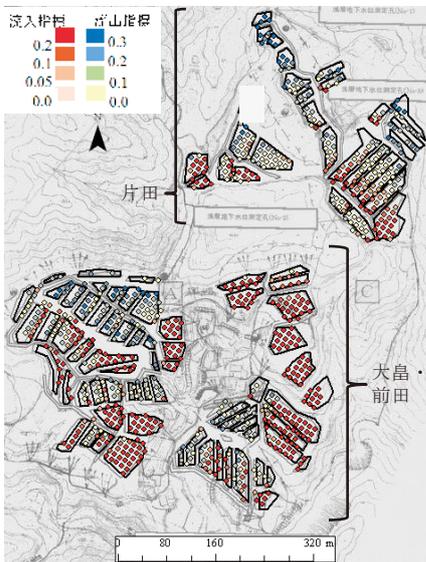
Fig.3 マップの作成手順
Procedure for drawing map

示した結果を示す。流入指標が大きくなる領域は、畦塗や代かきなど浸透抑制を目的とした農地管理と適切な地表排水によって防災機能の向上が見込める領域である。また、流出指標が大きくなる領域は、比較的地下水変動が小さいため、耕作放棄による災害リスクが小さく、畦畔の草刈りを入念に行い必要に応じて、フトンかごの設置や、抑制工・抑止工の設置といった土本的な防災対策を検討すべき領域である (川本ら (2010))。

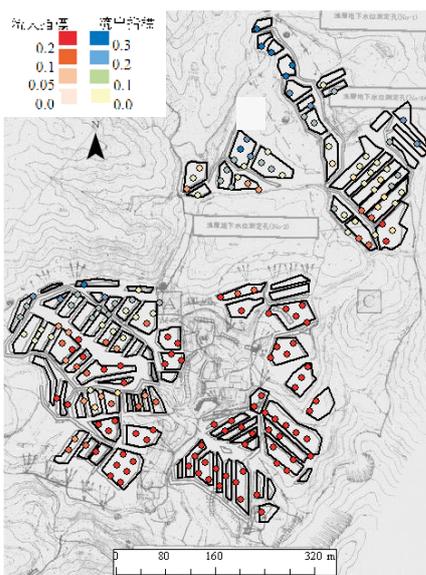
主に考察する領域を **Fig.4** (a) に、各ブロック名を **Fig.4** (b) に示す。大畠・前田ブロックにおいて比較的



(a) 4m メッシュ



(b) 10m メッシュ



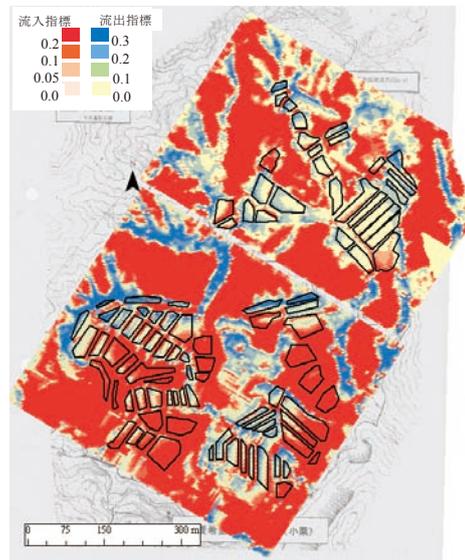
(c) 20m メッシュ

Fig.4 圃場区画内の浸透水流動指標のマップ化
Map of seepage flow index in paddy fields

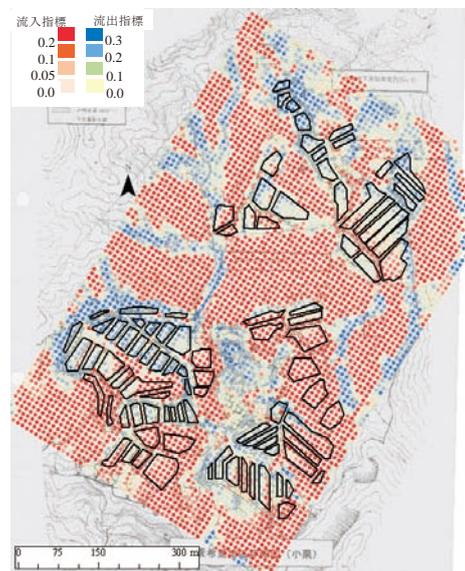
急峻な山地部からの地形遷急領域である領域1に流出指標の大きな箇所が、4 m・10 m・20 mいずれのメッシュサイズにおいても見られた。また、住居の集中する図中の下方に位置する領域2周辺で、4・10mメッシュの流出指標が中位となる箇所が見られる他は、浸透水流入指標が大きくなる領域が数多く見られる。一方で、20mメッシュによる指標は領域2において流入域が分布していることがわかる。メッシュの粗さが解析結果に影響を及ぼしたものと考えられる。

これらの結果は、浸透水流出域が数多く見られる片田ブロックとは異なる結果となる。片田ブロックに湿潤な農地が多いことは現地踏査の結果からも伺うことができる。片田と大島・前田における現地踏査の結果からの地表近傍で観察される湿潤状況と、両地区における解析結果の違いはある程度の対応関係が見られる。

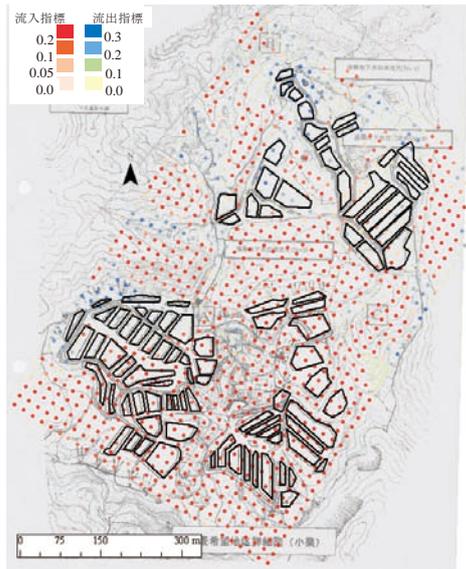
Fig.5に、全ての浸透水流動指標をGIS上で示した結果を示す。どのメッシュについても、Fig.4(a)の領域1



(a) 4mメッシュ



(b) 10m メッシュ



(c) 20m メッシュ

Fig.5 全データによる浸透水流動指標のマップ化
Map of all seepage flow index

の北側にある山間地において流入指標が卓越していることがわかる。また、防災管理に全データを使用する当マップでは、圃場内の指標が埋もれてしまうので、防災管理マップとしては Fig.4 のような圃場内の指標で評価することが妥当である。

VI 流入・流出指標および防災指標の評価

ここでは、Fig.2 の座標系での各指標について評価を行う。Fig.6 に、片田と大島・前田地区の圃場区画と、防災管理指標について考察を行うための領域を示している。ここで、防災管理指標とは、流入・流出指標を Table 1 のように整数値で置き換えたものである。また、領域については、Fig.4 (a) で考察を行った大島・前田地区の領域 1, 2 および、片田地区の領域 3, 4 として Fig.6 中に示している。Table 2 に各領域で対象となったメッシュ数と、各地点でのメッシュ間隔の違いによる防災管理指標の差を 1 メッシュあたりに換算した値について示す。ここでは、4m と 10m メッシュ、10m と 20m メッシュでのそれぞれのメッシュ間隔の違いによる検討を行った。大島・前田地区にある領域 1, 2 の方が片田地区にある領域 3, 4 より、4m と 10m メッシュ、10m と 20m メッシュいずれのケースでも防災管理指標の誤差が大きくなっている。このことから、地形によって 10m より細かい小スケールでの解析を行うことの重要性が示唆される。また、領域 2 においては、4 と 20m メッシュの防災管理指標の差が特に大きくなっている。この結果は、Fig.4 を定性的に評価してもわかることではあるが、メッシュを粗くする場合には、解析の考察に十分注意する必要があることを示している。

Table 3 に各領域の各地点におけるメッシュ間隔の違いによって、流入が流出指標に、流出が流入指標に変化したメッシュ数と、全メッシュに対する指標が変わったメッシュの割合を示している。領域 1 では、10 m ・ 20 m とともに 4m のものと指標が異なる傾向が他の領域よりあり、Fig.4 (a) からわかるように領域 1 北側の急峻な地形変化の影響を受けている可能性がある。さらに、領域 2 における 4m と 20m メッシュの間では 4m と 10m メッシュの間のケースと比較して多くのメッシュで指標が異

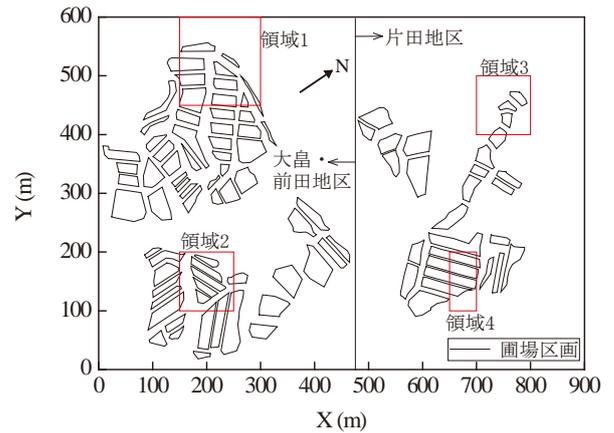


Fig.6 圃場区画と各領域
Farm fields and each area

Table 1 流入・流出指標と防災管理指標の関係
Relationship between seepage flow index and disaster reduction index

流入指標			流出指標		
~0.1	0.1~0.05	0.05~0.0	0.0~0.2	0.2~0.3	0.3~
↓	↓	↓	↓	↓	↓
1	2	3	4	5	6
防災管理指標					

Table 2 各領域における防災管理指標の差
Disaster reduction index in each area

	xの範囲	yの範囲	メッシュ数	4mと10mメッシュでの防災管理指標の差 (1メッシュあたり)
領域 1	150 300	450 600	493	1.998
領域 2	150 250	100 200	286	1.052
領域 3	700 800	400 500	77	0.818
領域 4	650 700	100 200	183	0.655
	xの範囲	yの範囲	メッシュ数	4mと20mメッシュでの防災管理指標の差 (1メッシュあたり)
領域 1	150 300	450 600	403	1.702
領域 2	150 250	100 200	235	3.37
領域 3	700 800	400 500	77	0.818
領域 4	650 700	100 200	183	0.721

なり、粗いメッシュを使用する場合は、流入・流出指標の大小だけでなく、流入・流出の結果に関しても十分注意して評価する必要があると考えられる。その他、流出傾向が強い片田ブロックの領域では、他の領域と比べ目立った変化は見られなかった。

浸透水流動指標ごとに圃場内に含まれるメッシュ面積が、4m・10m・20mメッシュでどのように変化するかをFig.7に示している。国土地理院の基盤地図情報（数値標高モデル）は、現時点において多くは10mメッシュである。この数値情報に準拠して指標マップを作成するなら、当面はこのメッシュサイズでの表示を採用せざるを得ない。しかしながら、Fig.7に示す4mと10mメッシュの流入指標を比較すると、10mメッシュよりも細分化されたメッシュによる結果の変動も無視できない場合があることを示している。

圃場区画デジタルデータの処理結果では対象としたFig.6に示す全96圃場の平均圃場面積 A_{ave} は834.8m²であり、等区画長は $\sqrt{A_{ave}}$ 27.5mとなるが、これは正方形

Table 3 流入・流出指標が変化したメッシュ数とその割合
Number and ratio of seepage flow index reversed inflow and outflow

	xの 範囲	yの 範囲	4・10mメッシュで指標が 変化したメッシュ数	左記メッシュ数
				全メッシュ数
領域 1	150	450	207	0.4198
	300	600		
領域 2	150	100	65	0.2272
	250	200		
領域 3	700	400	9	0.1168
	800	500		
領域 4	650	100	8	0.0437
	700	200		
	xの 範囲	yの 範囲	4・20mメッシュで指標が 変化したメッシュ数	左記メッシュ数
				全メッシュ数
領域 1	150	450	152	0.3771
	300	600		
領域 2	150	100	162	0.6893
	250	200		
領域 3	700	400	9	0.1168
	800	500		
領域 4	650	100	38	0.2076
	700	200		

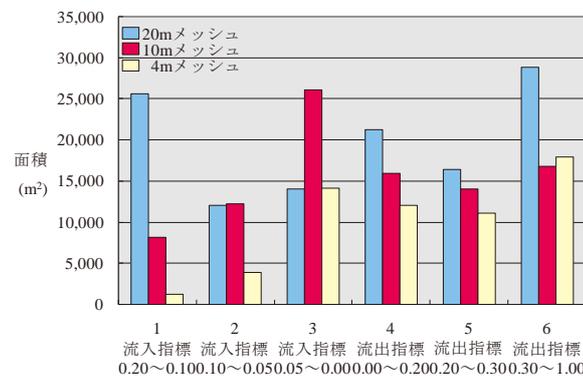


Fig.7 各メッシュサイズにおける浸透水流動指標ごとの面積
Area of seepage flow index in each mesh size

圃場を仮定した場合の圃場辺長である。実際のメッシュでは、圃場短辺長などの小スケールの要因によって解析結果が規定される可能性があり、今後、より小スケールでの地形データベース構築の重要度が高いことが明らかである。

Ⅶ 結 言

土砂崩壊防止機能の維持・増進を目的とした浅層地下水流動（浸透）シミュレーションによる浸透水流動指標を用いて、GISを活用した防災管理マップの作成技術の検討と、メッシュサイズを変えた浸透水流動指標の定量評価を行った。平成19年10月15～16日の豪雨時（日雨量187mm、時間雨量70mm）に山腹崩壊と溪流浸食が発生した石川県七尾市小栗町を解析対象とし、これまでに解析結果が示されている片田ブロックに加えて大島・前田ブロックの防災管理マップを示すとともに、メッシュサイズの解析結果への影響を検討した結果は以下のとおりである。

- (1) 防災管理マップの作成にGIS（ArcGIS）を活用することにより、傾斜地水田における防災管理方策を汎用的に、よりわかりやすく検討することが可能になる。
- (2) 石川県七尾市小栗地区に適用した結果、大島・前田ブロックにおける浸透水流動指標は一部を除くと浸透水の流入が卓越する傾向が見られた。この傾向は現地踏査による片田ブロックの結果と比較すると整合する。
- (3) メッシュサイズを変えた解析を実施し、10m程度のメッシュサイズでの解析でも、防災管理上での目安としての結果を与える。
- (4) 地形単元が比較的小スケールの中山間地圃場では、圃場短辺長等の小スケールの要因によって解析結果が規定される可能性があり、今後も、より小スケールメッシュサイズの地形データベースによる評価も必要性が高い。

参考文献

- 1) 北陸農政局農村計画部資源課（2006）：多面的機能増進調査報告書，56-69
- 2) 川本 治，山田康晴，井上敬資，正田大輔，瀬川徳子（2010）：浅層浸透解析による傾斜地水田の防災管理指標のマップ化，水土の知，78(9)，7-10
- 3) 田中忠次，川本 治（1987）：地盤・斜面崩壊の三次元有限要素法解析—動的緩和法の適用—，農土論集，131，79-86

Map of Seepage Flow Index for Paddy Fields Using GIS

SHODA Daisuke and KAWAMOTO Osamu

Summary

Recent social and natural problem causes a high incidence of disaster damage at an agricultural community of intermountain regions. Above problem involves declining birthrate, a growing proportion of elderly people, warming temperature and so on. Control and maintenance of paddy fields have attracted attention to reduce damage of paddy fields and an agricultural community. However, relationship between control and maintenance of paddy fields and disaster reduction is not clarified adequately. In this paper, for the purpose of disaster reduction, maps of disaster reduction management are drawn up on the basis of seepage flow index calculated from seepage flow analysis in fields of Oguri town, Nanao city, Ishikawa. Influence of analysis mesh sizes, which is 4m, 10m and 20m is also considered.

Conclusions in this paper were obtained in the followings. Using GIS, results of seepage flow analysis can be used for various purposes of disaster reduction management. The seepage flow condition of analysis result matches a current state of the fields. In agricultural fields of intermountain regions, analysis mesh had better segmentalize because the analysis result may be determined by short sides of the field. However, mesh size of about 10m is currently a reasonable mesh for analysis mesh because digital elevation data is generally 10m.

Keywords : disaster reduction, map, seepage flow index, paddy field of intermountain region