スペースシンタックス理論に基づく集落の孤立可能性評価に向けた基礎検討

16T0319W　髙田　直樹
指導教員：丸山　喜久　劉　ウェン

1.　研究の背景と目的

大規模な地震が発生し，道路が土砂災害や陥没によって寸断されると，避難や支援物資の輸送が阻害される．特に交通網が充実しておらず，土砂災害の危険性がある中山間地では大きく影響を受け，集落単位で移動手段を失い孤立する可能性がある．実際の事例としては，2004年新潟県中越地震では土砂災害による道路閉塞，通信伝送路の障害等により61箇所にも及ぶ孤立集落が発生した[1]．また，平成26年内閣府調査[2]によると中山間地等に散在する集落において，地震発生による道路の不通などで孤立する可能性がある集落は全国で17,000箇所以上存在すると述べられている．

そこで本研究では，道路ネットワークの接続性をグラフ理論の一種であるスペースシンタックス理論により数値化し，地震による斜面崩壊が道路ネットワークの接続性に及ぼす影響の分析または集落の孤立可能性の評価手法の検討を行う．また，将来的に道路ネットワークの接続性から集落の孤立可能性を簡易的に算出する手法を提案することを目的とする．

2.　スペースシンタックス理論の概要

スペースシンタックス理論は，1970 年代にロンドン大学ユニバーサルカレッジのビル・ヒリアー教授らによって提案された空間解析の手法である[3]．一連の手法は室内空間や都市空間の解析及び数量化に適用でき，とくに軸線図を利用して行う解析手法は空間の接続性をグラフ化し，接続性を数値化する手法である．具体的な計算過程としては，軸線を頂点として隣接グラフ化した上で，任意の軸線から他の軸線への位相的な距離を計算し，RA 値と呼ばれる各軸線の位相的な中心性を求める．実際の解析においては，RA 値がグラフ内の頂点数に依存しないよう相対化した RRA 値およびその逆数である統合値が指標に使われる．統合値が低いほど，その値を有する軸線の接続性が弱いと評価され，統合値が低い軸線に囲まれている集落は孤立しやすいと言える．

3.　新潟県の交通網評価

図-1は新潟県全域の道路ネットワークに対して，統合値の計算結果を色分けして示したものであり，リンク数は219,454，リンクの統合値の平均は0.243であった．県庁所在地である新潟市から長岡市にかけて密なネットワークを形成しているため統合値が高い値を示し，対照的に山間部の多い県境部ではリンクが少なく統合値は低いという傾向がみられる．県境部に関しては，県外のリンクとの接続性を考慮していないことも原因と考えられ，実際の統合値が過少評価される．そのため実際の県境部の統合値に関しては多少改善される見込みであり，本研究の解析結果だけでは一概に評価することはできない．

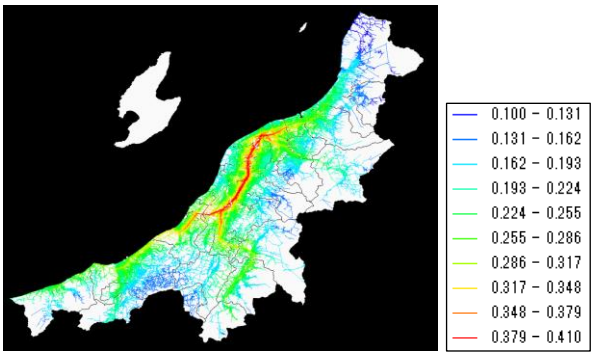

図-1　新潟県の道路の統合値

4.　斜面崩壊多発地域での解析

2004年新潟県中越地震で多数の土砂災害が発生した旧山古志村周辺に着目して分析を行う．本研究では，旧山古志村と旧山古志村が現在の市町村区分において隣接する3つの市町村（長岡市，魚沼市，小千谷市）で解析を行った．**図-2**は通常時の旧山古志村周辺地域における道路ネットワークの分布，並びに統合値の値であり，リンク数は37,426，リンクの統合値の平均は0.297であった．旧山古志村はU状に密なネットワークを形成している内側の中心付近に位置しており，図中では黄色で境界を表示している．旧山古志村は密集した道路に囲まれているように見えるが，統合値はそれほど高い値を示していない．これは周辺のネットワークから旧山古志村に繋がるリンクが少なく，接続性が弱いためである．

地震後のネットワークの想定には，国土地理院より提供を受けた斜面崩壊地のポリゴンデータ[4]を使用した．このポリゴンと交差するリンクを削除した上で，それに伴って孤立してしまうリンクも除いた結果，計413リンクを削除した．そして通常時とリンク処理後それぞれの道路ネットワークで統合値を計算し，その差分をとったものが**図-3**である．大規模な孤立被害を出した旧山古志村付近を中心に統合値の低下が発生していることがわかる．　また，村全域で孤立集落が発生した旧山古志村について，通常時の旧山古志村周

辺のネットワークと，斜面崩壊後を想定したリンク処理を行ったネットワークのそれぞれのスペースシンタックス理論に基づく解析結果に対して，旧山古志村境界から3000 m範囲内のリンクのみを取り上げ，両者の比較を行った．これにより対象エリアにおいて，斜面崩壊によってリンクが170本寸断された結果，各リンクの統合値の平均は約13%，エリア内の統合値総和は約29%減少したことで，孤立集落が発生したと言える．

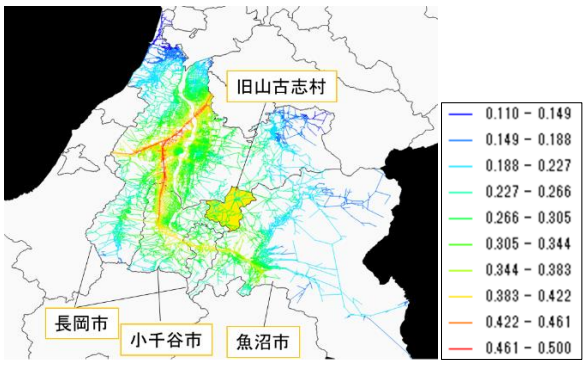

図-2　旧山古志村周辺道路の統合値

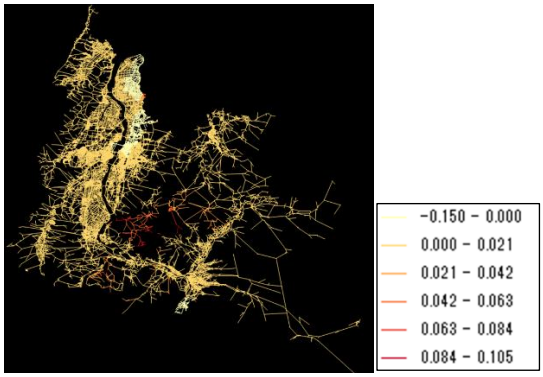

図-3　旧山古志村周辺道路の統合値の差分

5.　モデル地震への適用

将来発生する地震に対する防災対策や，地震後のリアルタイム評価のためには，地震動指標から推定される斜面崩壊確率等の利用が不可欠となる．そこで，和歌山県全域を対象に，酒井ら[5)]の評価式によって求めた斜面崩壊確率pを用いて，南海トラフ巨大地震後の道路ネットワークを仮定し，統合値の変化を算出する．

$$p = \frac{1}{1 + \exp\{-(-7.89 + 0.09Ang + 0.0019PGA)\}} \qquad (1)$$

ここで，Angは斜面勾配(°)，PGAは地震動の地表面最大加速度(cm/s^2)である．

具体的には，まず，通常時の和歌山県全域の道路ネットワークに対して統合値を算出する．次に，和歌山県全域を250mメッシュで分割し平均傾斜角度と南海トラフ巨大地震における想定PGAより斜面崩壊確率pを推定する．そして，全メッシュ中，斜面崩壊確率が上位 3%であるメッシュで斜面崩壊が発生すると仮定し，そのメッシュを通るリンクを削除することで地震後のネットワークの想定を行った．

通常時と地震後の想定ネットワークのそれぞれで統合値を計算し，その差分をとった（**図-4**）．県南部のリンクが多く削除され，統合値の減少も大きくなっている．また，和歌山県の市町村ごとにエリア内統合値の推移を整理し，4 章の結果を踏まえ，統合値の総和が 29%以上減少する市町村を抽出した結果，**図-4**に灰色で示す新宮市，那智勝浦町，古座川町，串本町，すさみ町の 5 市町村が該当した．これらの市町村では孤立の可能性が高いと考えられる．

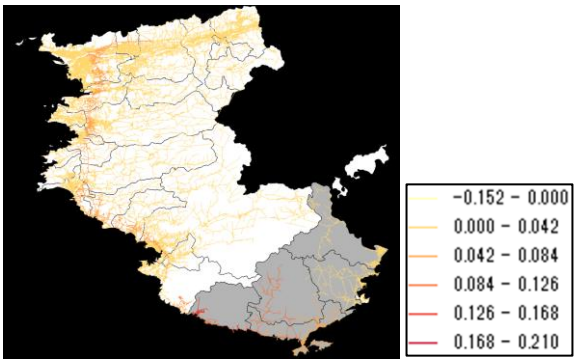

図-4　和歌山県の道路の統合値の差分

6.　まとめと今後の課題

地震による斜面崩壊が道路ネットワークの接続性に及ぼす影響の評価または孤立地域の道路ネットワークがもつ特徴や傾向の分析を行った．その結果，斜面崩壊地周辺の道路リンクを中心に接続性の低下が全体的に生じており，旧山古志村では，統合値が約3割低下したことで孤立集落が発生したことが明らかとなった．また，南海トラフ巨大地震では，和歌山県の5市町村で孤立の可能性が高いことが分かった．今後は，解析地域のサンプルを増やし，定量的な孤立可能確率の算出を目指す．

参考文献

1)　国土交通省北陸地方整備局：新潟県中越地震 www.hrr.mlit.go.jp/saigai/H161023/chuetsu-jishin

2)　内閣府：中山間地等の集落散在地域における孤立集落発生の可能性に関する状況フォローアップ調査 http://www.bousai.go.jp/jishin/chihou/chihoutoshi_top.html

3)　日本建築学会：都市・建築の感性デザイン工学，朝倉書店，2009.

4)　国土地理院：新潟県中越地震災害状況図 https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/NIIGATAJISIN

5)　酒井久和，奥村誠，塩飽拓司，香川敬生，長谷川浩一，澤田純男，多々納裕一　：地震時における斜面の簡易信頼性評価法に関する基礎的研究，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol69，No4，pp.I_142-I_147，2013