

熱赤外線センサーを用いた表層崩壊予測に関する研究

国土交通省近畿地方整備局六甲砂防事務所 木下 篤彦, 河野 貴司
 アジア航測株式会社 ○船越 和也, 中島 達也, 岡野 和行, 山口 和也, 井之本 信, 細見 温子
 京都大学大学院農学研究科 小杉 賢一朗

1. はじめに

六甲山系周辺は、プレートテクトニクスの影響による複数の大きな地塊の締め付けを強く受け、圧縮変位と横ずれ変位をあわせて受けた逆断層的な傾動地塊を呈する。このため六甲山系は、急峻な地形を呈するとともに、地質構造運動を強く受けた脆弱な地質が広く分布し、同時多発的な土砂災害が発生する危険性が高い。このような地域では、砂防事業の効果を効率的に発揮させるうえで溪流の優先度をつけて整備することが重要であり、そのためには斜面崩壊による土砂生産の危険性の高い箇所を精度よく把握する必要がある。

豪雨時の表層崩壊、それに伴う土石流の発生の予測には、土層内における地下水の集中具合を把握することが重要であると指摘されている。一方で、土層の浅層部の地下水状況を広大な斜面で把握していくことは多くの困難を伴うことから、リモートセンシング技術を活用した手法を組み合わせることで効率的に把握することも重要な課題となっている。小杉ら¹⁾は、「恒常的な地下水流動経路周辺では土壌水分量が高く、高温・乾燥時であっても樹木が活発に蒸散を行うことによって樹冠表面温度が低く抑えられている」ことを指摘している。

本研究では、六甲山系に位置する住吉川流域（図1に示す11.16km²）を対象として、航空機による熱赤外面像を取得した樹冠温度分布を把握するとともに、斜面浅部の土層と地下水状況を現地計測および空中電磁探査により検証し、その適用性を検討した。

2. 熱赤外線画像データによる表面温度分布

熱赤外線画像データは2010年9月21日の14:00から15:30に取得した。計測精度は、地上解像度平均0.85m/pixとして、計測温度に対する直接的な降雨影響を避けるため、前回降雨（23mm/hr、累加雨量38mm）から4日の間隔を空けて計測した。計測した熱赤外線画像から1万点のデータを無作為抽出で確認したところ、各地点の標高ならびに日射量と表面温度の間に相関が確認された。このため、対象流域内の表面温度を相対的に評価するため、標高差と日射量に対して、計測温度の回帰式（図2）からそれぞれ補正を行った（標高影響に対する補正：-12.9°C/1,000m、日射量影響による補正：+0.22°C/100Wh/m²）。

3. 土壌水分計測結果による検証

樹木被覆された斜面の樹冠温度と、現地の土壌水分量の関係を検証するため、樹冠温度が周辺と比較して低下している箇所を抽出し、小杉ら²⁾が開発した土壌水分計付貫入試験器を用いて土層厚分布と土壌水分量の計測を実施した。計測した土壌水分量の分布と樹冠表面温度の分布を比較したところ、土壌水分量が高い箇所とその下部斜面では、樹冠温度が低下する傾向が確認された（図3）。この結果をふまえ、熱赤外線画像で把握した表面温度から、土壌水分量により樹冠温度が低下している箇所を抽出する手法として、単元

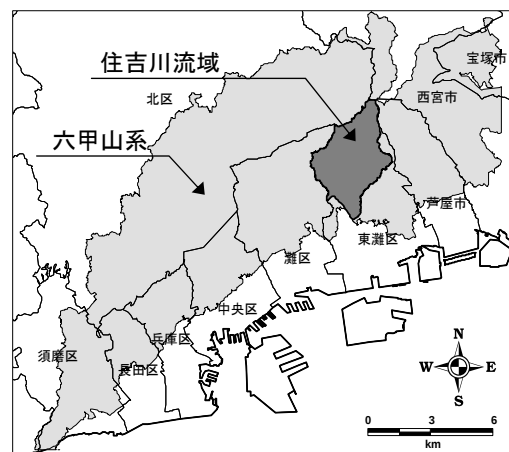


図1 検討対象とした住吉川流域の位置

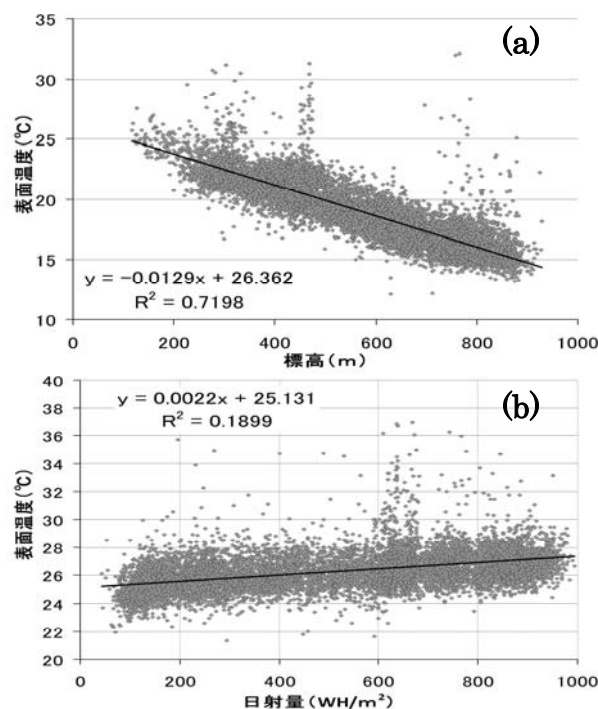


図2 (a)標高差、(b)日射量と樹冠表面温度の関係

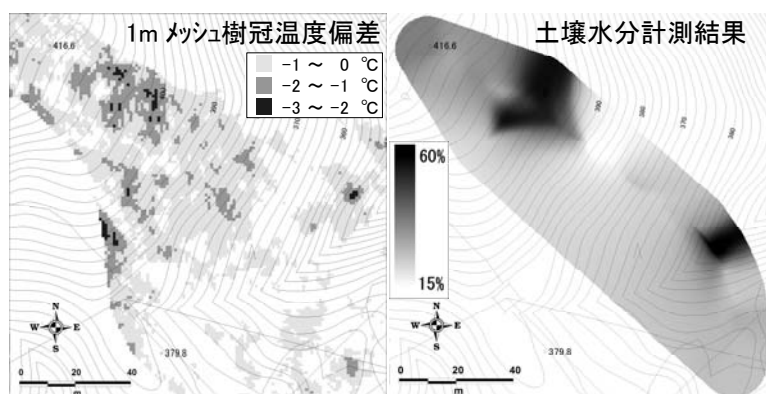


図3 単元斜面の温度平均値からの負の偏差量を1mメッシュで算出した樹冠温度低下部の抽出結果と土壌水分量計測結果

斜面毎の温度平均値からの負の偏差量を算出することとした。

4. 空中電磁探査による検証

空中電磁探査により地盤表層部（深度 5m 程度）の比抵抗値を解析した結果において、尾根地形部での比抵抗値に着目すると、一部に比抵抗値の偏差が低くなる箇所が存在し、そのような箇所では樹冠温度の偏差も低くなっていることが確認された。

（図 4）. なかでも、集水地形の最上部に位置する稜線付近の尾根地形が卓越する箇所（図 4 中の丸印部）では、比抵抗値の偏差低下と樹冠温度の偏差低下が一致しており、地形的な集水条件以外の地下水影響を示唆する結果と考えられる。

5. 結果と考察

斜面土層の土壌水分集中箇所は、植物の蒸散により樹冠温度が低下することが考

えられ、今回実施した熱赤外線画像で把握した表面温度と現地計測した土壌水分分布が調和的であることが確認された。このことから、単元斜面の樹冠温度の平均値に対する負の偏差に着目することで、土壌水分量が高い箇所を絞り込むことが可能であると考えられる。また、兵庫県南部地震以降に降雨により発生した新規崩壊箇所（地震後の拡大崩壊を除く）について、崩壊地内の樹冠温度偏差の最小値の出現傾向を整理すると、住吉川流域の崩壊地 55 箇所のうち、48 箇所（全体の 87.3%）で 0℃以下、27 箇所（全体の 49.1%）で -1℃以下となり、単元斜面のなかで樹冠温度低下が大きい箇所で崩壊が発生している可能性を示す結果が確認された（図 5）。

さらに、崩壊地での樹冠温度について、負の偏差値が大きい箇所が必ずしも集水面積に比例していないことが確認され（図 6）、また負の偏差値が大きい樹冠温度低下箇所のうち集水面積が 1,000m² 以下となる箇所を抽出して断層の位置関係と比較した結果（図 7）から、断層による地下水流動が樹冠温度低下に影響している可能性を示す結果が得られた。このことから、樹冠温度分布の把握が、地質構造に起因した地下水集中箇所の把握にも有効であり、断層による地下水状況を考慮した斜面崩壊危険度評価にも適用性があると考えられる。

6. おわりに

今回の結果では、航空機で広範囲に熱赤外線画像を取得することで、相対的に土壌水分量が高い箇所を効率的にスクリーニングできる可能性を示した。今後は、計測した樹冠温度に対して、土壌水分量や地下水流動状況との整合性を検証するとともに、裸地や水部、人工被覆物などの温度影響を考慮した解析手法を確立していく必要がある。

<参考文献>

- 1) 例えば、小杉賢一朗・水山高久：赤外線リモートセンシングと物理探査による表層崩壊危険箇所の探索，平成 22 年度 砂防地すべり技術研究成果報告会 講演論文集 75-92 ページ
- 2) 小杉賢一朗・堤大三・水山高久・長谷川秀三(2004)：斜面土壌水分空間分布計測のための土壌水分計付貫入計の開発，砂防学会誌，Vol. 57, No. 3, p. 3-13

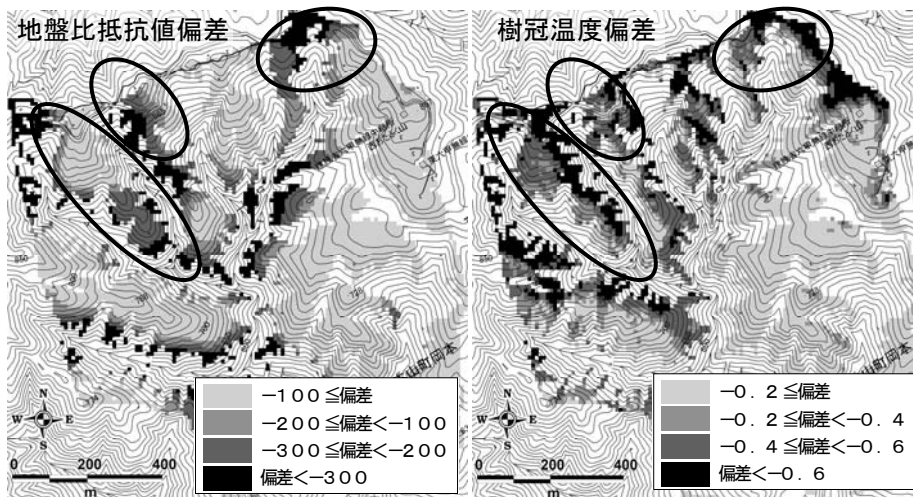


図 4 空中電磁探査で把握した地盤比抵抗値の偏差と樹冠温度の偏差の分布

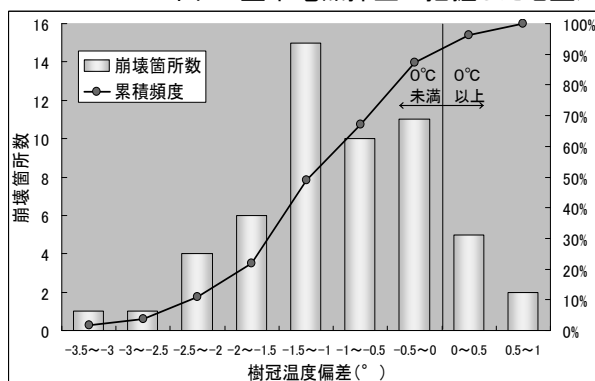


図 5 降雨による崩壊箇所における樹冠温度の特性

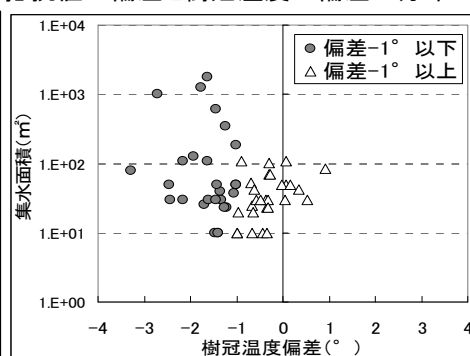


図 6 降雨による崩壊箇所の樹冠温度偏差(平均値)と集水面積の関係

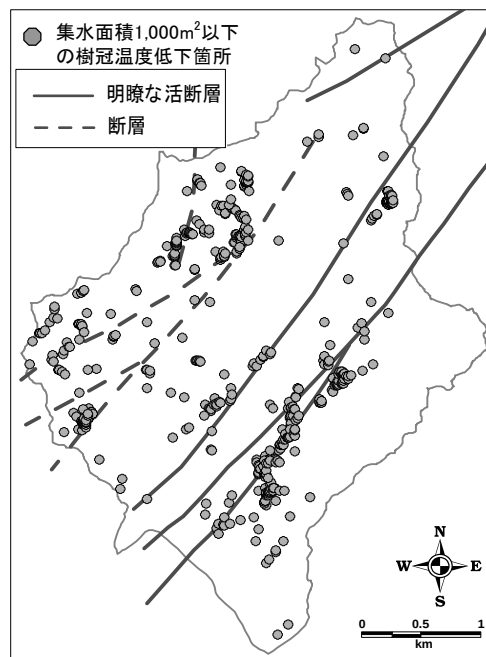


図 7 集水面積が 1,000m² 以下となる樹冠温度低下部と断層の分布