

# ALOS パンシャープンステレオペア画像を用いた実体視判読～微地形および斜面崩壊地を例に

STEREOSCOPIC INTERPRETATION BY USING ALOS SATELLITE

STEREO-PAIRED PAN-SHARPENED IMAGES ~ CASE STUDY OF

MICRO-TOPOGRAPHY AND SLOPE FAILURE AREA

黒田 圭介<sup>1</sup>・黒木 貴一<sup>2</sup>・宗 建郎<sup>3</sup>・磯 望<sup>4</sup>・後藤 健介<sup>5</sup>

Keisuke KURODA, Takahito KUROKI, Tatsuroh SOH, Nozomi ISO and Kensuke GOTO

<sup>1</sup>西南学院大学非常勤講師（〒814-8511 福岡市早良区西新6-2-92）

E-mail: kuroda@seinan-gu.ac.jp

<sup>2</sup>福岡教育大学（〒811-4192 宗像市赤間文教町1-1）

E-mail: kuroki0@fukuoka-edu.ac.jp

<sup>3</sup>志學館大学（〒890-8504 鹿児島市紫原1-59-1）

E-mail: soh@shigakukan.ac.jp

<sup>4</sup>西南学院大学（〒814-8511 福岡市早良区西新6-2-92）

E-mail: iso@seinan-gu.ac.jp

<sup>5</sup>大阪教育大学（〒563-0026 池田市緑丘1-2-10）

E-mail: goto@cc.osakakyoyoku.ac.jp

**Key Words:** stereoscopic interpretation, ALOS, micro-topography, slope failure, GIS

## 1. はじめに

自然地理学分野での衛星データ利用は、その高精度化と解析ソフトの充実に伴って近年増加している。たとえば IKONOS データによる斜面崩壊の発生要因の検討<sup>1)</sup>、SPOT データから作成した DEM による斜面崩壊特性の分析<sup>2)</sup>などがあり、これらの成果にはコンピューターによる高度な解析を伴う。ただ衛星データは広域に対する利用が多く、小地形単位の課題に対する狭域での利用はあまり多くない。微地形判読のような狭域の課題に対しては、現状では衛星データよりも主として空中写真による実体視地形判読を用いることが多い。ところで、既存研究における衛星画像による実体視地形判読は、LANDSAT の衛星画像に現れるような反射率特性を鍵に行うもの<sup>3)</sup>と、視差をもつ CORONA 衛星や SPOT などの衛星画像で行うもの<sup>4),5)</sup>が見られる。前

者は解像度の低さ、後者はモノクロ画像の制約があるため、衛星画像を空中写真と同じ取り扱いで地形判読する際の適性に関する検討はなされていない現状がある。

もし、空中写真に匹敵する精度で衛星画像でも微地形や斜面崩壊地の細やかな実体視地形判読が可能となれば、以下のような利点が挙げられる。まず、衛星画像はデータ更新が空中写真の撮影頻度よりも多いため、最新の地形情報を得やすく、かつその経年変化を追跡しやすい。次に、衛星データの 1 シーンは空中写真の撮影範囲よりもデータ範囲がはるかに広いので、GIS で一度幾何補正をすれば高度な位置情報を保ったまま必要な範囲を何度も自由に切り取って利用することができ、さらにデジタルデータとして保管できるので、データ管理が容易となる。これらの利点は地理学にとどまらず、さまざまな研究分野での利活用が期待できる。

そこで本研究では、ALOS(だいち)の画像データからステレオペアのパンシャープン衛星画像を作成する手法を工夫し、その衛星画像の実体視からどの程度地形分類が可能か、沖積低地の微地形(干拓地)と昭和 57 年の長崎豪雨で斜面崩壊を発生させた山地斜面地形を事例として、空中写真による実体視判読との比較や現地調査によりその有効性について確認した。さらに、本研究で作成された干拓地の微地形分類図から不同沈下範囲の推定や、山地斜面地形分類図から斜面崩壊が発生した地形の抽出などの考察を行った。なお、本稿は 2009 年度日本地理学会春季大会<sup>6)</sup>と、2009 年応用地質学会平成 21 年度研究発表会<sup>7)</sup>で発表したもの骨子として、一部に新たな知見を加えて再構成したものである。

## 2. 研究の方法

### (1) 解析対象地域概観

研究対象地としたのは、微地形に対しては長崎県東部の沖積低地で、海岸に沿って干拓地が広がる(図-1)。この諫早湾干拓地は江戸時代より干拓が盛んに行われている地域で<sup>8)</sup>、最近では 1997 年に潮受け防を閉じ、大規模な干拓地を造成したことで知られる。斜面崩壊地に対しては長崎市の山地斜面とした(図-1)。研究対象とした山地斜面は昭和 57 年 7 月の長崎豪雨による斜面崩壊とそれに伴う土砂流を発生させた山地斜面の一つである。長崎豪雨は長与町で最大 1 時間降水量 187mm を記録し、長崎県では多数の斜面崩壊や土石流、浸水が生じ、209 人の死者が出た<sup>9)</sup>。なお、諫早湾干拓地については 2008 年 11 月 30 日に現地調査を行った。

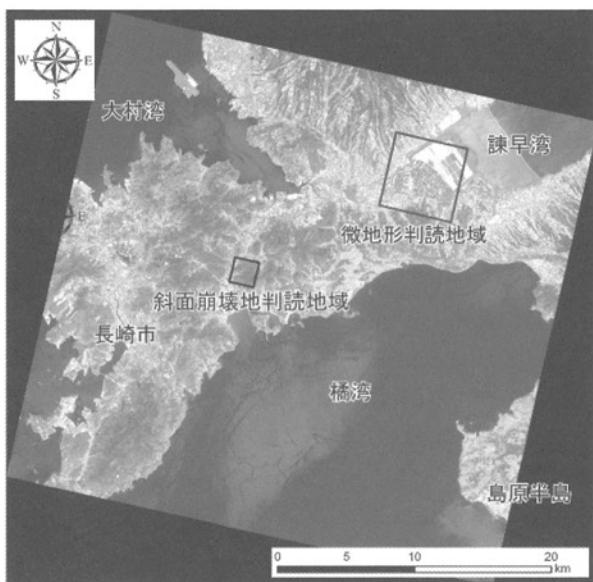


図-1 解析範囲

### (2) 使用したデータと画像の調整

本研究において衛星データの処理や地理学的な解析に用いた GIS ソフトは、ESRI 社製 ArcView9 である。実体視に用いた人工衛星データは、ALOS の AVNIR-2(2006 年 6 月 2 日取得)と PRISM データ(2007 年 4 月 29 日の直下視(UN)と後方視(UB))である。前者の解像度は 10m、後者は 2.5m である。PRISM の直下視(UN)データに GCP(Ground Control Point、画像座標と地図座標を重ね合わせるためのポイント)を 10 点設定し、2 次多項式変換を用いて幾何補正した。さらにこの幾何補正に使用した GCP を用いて AVNIR-2 データを幾何補正した。

実体視に用いる画像は、幾何補正済みの PRISM の直下視(UN)データと AVNIR-2 データを用いて作成した、いわゆる解像度が低いカラー画像と分解能が高いモノクロ画像を融合させた高解像度パンクロマティック画像(直下視)と、高解像度の後方視(UB)モノクロ AVNIR-2 データで、これら直下・後方視画像をステレオペアとして組み合わせることで視座差を発生させる。ここで、東西を横とする画像の実体視では、平野部は立体的に見えるが、山地斜面は立体的に見えないことが分かった。GIS で空中写真の標定にあたる作業を行い、これにより ALOS の衛星地上軌跡を横とする 103 度ですべての地形が最も立体的に確認できることが分かった。衛星画像をそのままプリントアウトしたものを北が上になるように 103 度回転させての実体視は手間がかかるため、GIS で画像を 103 度回転させて調整し、これをプリントアウトして実体視判読を行った。なお、ALOS は、2011 年 5 月 12 日に運用を終えたが、過去約 5 年間で全世界約 650 万シーンを観測しており、今後も有用なデジタル地理情報となりうる。

ステレオペア衛星画像による実体視判読結果と比較・検証するために、空中写真(斜面崩壊地は 1/8 千空中写真(朝日航洋 1982 年撮影)、微地形は 1/3 万空中写真(国土地理院 1998 年撮影))による判読を行った。これらの空中写真は GIS でオルソ幾何補正を行い使用した。

### (3) 地形分類

研究対象地域の実体視による地形分類について、沖積低地では丘陵・段丘崖、段丘面、微高地、低地、微低地、干拓地、河原、河川、海の 9 項目について区分した。この中で微高地は、自然堤防及び低地・干拓地内のやや高い部分で、低地は大正期以前の干拓地と沖積低地、干拓地は昭和期以降の大規模な干拓地、微低地は旧河道と推定される低地内的一段低

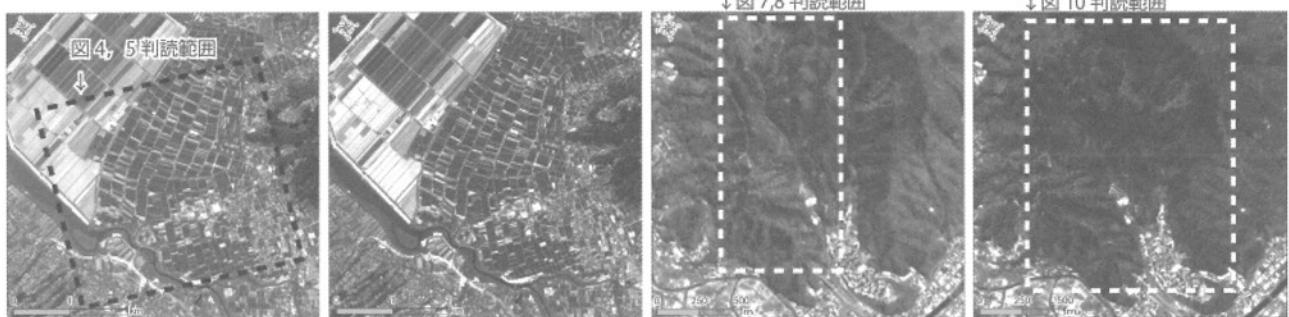


図-2 微地形(干拓地)1/3万ステレオペア画像

図-3 山地斜面(斜面崩壊地)1/1万ステレオペア画像

(図-2, 図-3 左図：直下視パンシャーブン, 同右図：モノクロ後方視)

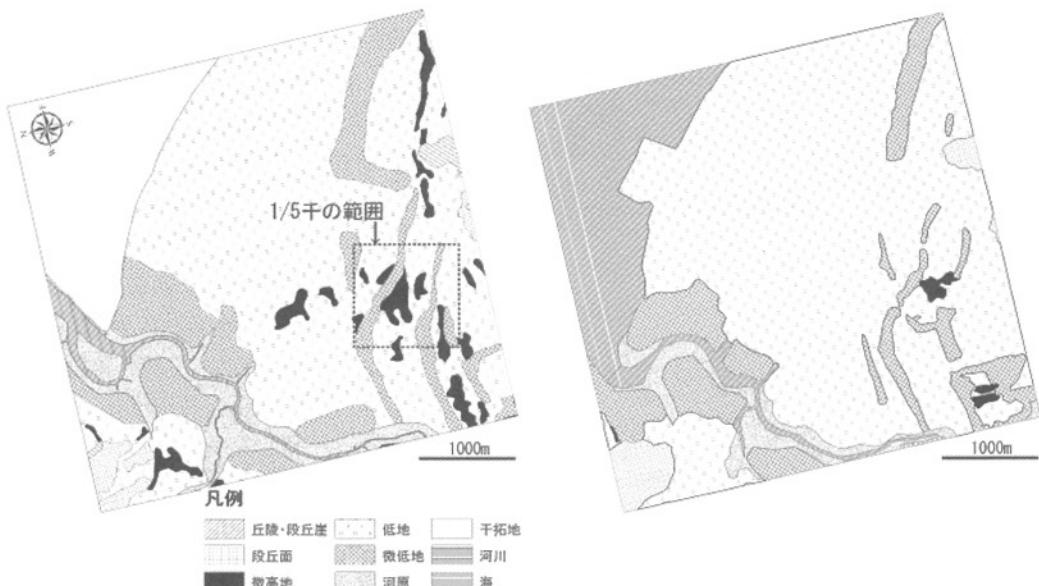


図-4 1/3万衛星画像による微地形(干拓地)判読

図-5 1/3万空中写真による微地形(干拓地)判読

い部分である。また、沖積低地では、縮尺による判読精度の有無を検討するために、広域中縮尺1/3万および狭小域大縮尺1/5千の縮尺にGISで調整し地形分類を行った。その範囲については図-1に、使用した1/3万ステレオペア衛星画像を図-2に示す。なお、比較・検証用に空中写真でも1/3万で同様の分類項目で地形分類を行った。

次に、斜面崩壊地については、頂部平坦面、上部谷壁斜面、谷頭斜面、谷頭凹地、下部谷壁斜面、崖錐・段丘、谷底の7項目について区分した<sup>10),11)</sup>。この地形区分の中で、頂部平坦面は稜線上の緩斜面、上部谷壁斜面は頂部平坦面の下方に連なる凸状の地形、谷頭凹地は上部谷壁斜面をえぐるように刻まれた谷で、その下部は下部谷壁斜面もしくは谷底と接続することが多い。下部谷壁斜面は谷底へ向かって落ち込む急斜面で、河川による侵食を活発に受ける

地形である<sup>11)</sup>。なお、斜面崩壊地については、1/1万および1/5千の縮尺にGISで調整し地形分類図を作成した。実際に長崎豪雨で生じた斜面崩壊地についてはオルソ化した朝日航洋の1/8千空中写真(1982年撮影)をGISで縮尺1/5千に調整したもの用いて判読した。斜面崩壊地判読範囲については図-1に、使用した1/1万ステレオペア衛星画像を図-3に示す。

### 3. 結果

#### (1) 微地形判読結果と精度検証

広域中縮尺1/3万ステレオペア衛星画像を用いた微地形の判読結果(図-4)を見てみると、丘陵・段丘崖、段丘面、微高地、低地、微低地、昭和期以降の干拓地、河原、河川、海の9項目すべてが区分できた。空中写真による地形分類(図-5)では昭和以降の干拓

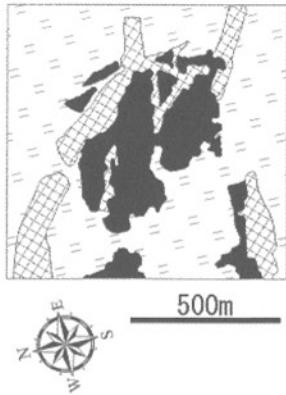
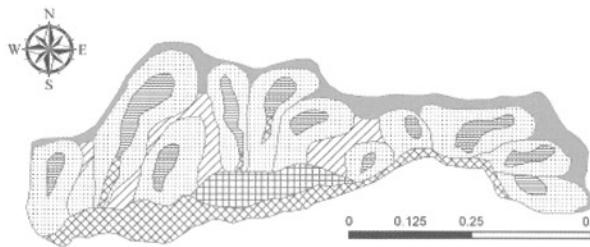


図-6 1/5千衛星画像による微地形(干拓地)判読結果  
(凡例と分類範囲は図-4を参照)



凡例  
 斜面崩壊地 谷底  
 上部谷壁斜面 谷頭凹地  
 下部谷壁斜面 谷頭斜面  
 崖錐 頂部平坦面

図-7 1/5千衛星画像による山地斜面判読  
(分類範囲は図-3を参照、方位は北が上)

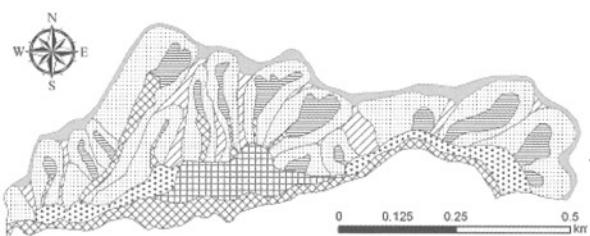


図-8 1/5千空中写真による山地斜面判読  
(分類範囲は図-3、凡例は図-7を参照、方位は北が上)

地以外の8項目の判読ができた。両者の地形分類図を比較してみると、大きな違いは認められないが、衛星画像によるものの方に微高地が多く分類された。この微高地のほとんどが集落と一致するが、現地調査からこの干拓地にある集落は微高地上に形成されたものではなく、低地に形成されたものであることが分かった。この原因として、衛星画像の解像度が空中写真のものより低いため、家屋による集落が一団となって高まって見え、実際の微高地より広い領域を微高地として誤判読したことが考えられる。

次に、狭小域大縮尺1/5千の衛星画像による地形分類図を見てみると(図-6)、この区域は空中写真で判読しても微高地となる箇所であり、その一部は衛星画像でも微高地をある程度抽出、分類できている。また、微低地については、1/3万による分類図(図-4)よりも詳細に分類でき、空中写真による分類図(図-5)に匹敵する。

以上より、広域(1/3万)のステレオペア衛星画像による微地形分類は、空中写真によるものとほぼ同精度で分類可能であるが、高さを持った人工的な地物の集合体(ここでは集落)が障害となって低地を追跡できずに高地状の地形として誤判読する場合もあるので、現地調査、地形図やDEMデータを参照にしつつ地形分類を行い、誤分類をなるべく排除する必要がある。また、狭小域(1/5千)のものについても広域のものと同様の注意が必要であるが、実体視判読は十分に可能で、広域のものよりも細かい分類ができる。

## (2) 斜面崩壊地判読結果と精度検証

1/5千ステレオペア衛星画像を用いた斜面崩壊地の判読結果を図-7に示す。空中写真判読(図-8)では頂部平坦面、谷頭斜面、谷頭凹地、上部谷壁斜面、下部谷壁斜面、崖錐・段丘、谷底を区分できた。一方衛星画像(図-7)では、頂部平坦面、谷頭斜面、谷頭凹地、上部谷壁斜面、崖錐・段丘、谷底を区分できた。しかし、急傾斜で隣接地形との傾斜の違いが小さい下部谷壁斜面を区分できず、幅数10m未満の狭い領域を持つ谷頭斜面、谷頭凹地、谷底は部分的にしか区分できなかった。以上より、衛星画像は空中写真に比べて、急傾斜領域、狭い領域を持つ地形、微妙な傾斜変換線の識別に難はあるが、その他の斜面地形については区分が可能である。よって、地形区分の結果から、斜面崩壊発生地を推定できる可能性がある。

## 4. 考察

### (1) 干拓地における地盤の不同沈下の抽出

衛星画像による微地形判読では、旧河道状で帯状の微低地が低地と交互に出現するように分類できた(図-4)。干拓地は人工地形であるので、この微低地は旧河道とは考えにくい。既往文献によれば、江戸時代元禄期から大正期までの干拓地全体の平面構造として、諫早湾では沿岸に並行するように、陸側から



図-9 諫早湾干拓の歴史と衛星写真判読による不同沈下  
地域(微低地)の分布  
(方位は北が上としている)



写真-1 不同沈下による道路の亀裂(撮影地点は図-9内)

宅地・農地、潮溜り、干拓地堤防という配列が繰り返されている<sup>8)</sup>。また、諫早湾干拓地では地盤沈下現象の存在も指摘されていることから<sup>12)</sup>、この帶状に分布する微低地は地盤の不同沈下によって生じた凹地の可能性が高い。

そこで、元禄期以前から昭和期までの干拓地の分布に微低地を重ね合わせた図を図-9に示す。これを見ると、北西側の河川に沿う微低地と干拓地の一区画がほぼ一致し、南側の微低地も同じことが言える。また、南側の微低地の一部は干拓地の区画の境界、すなわち過去の干拓堤防に重なるように細長く帯状に分布する。また、現地調査から集落内一部の擁壁や道路には亀裂が見られたことは(写真-1)、この微低地が干拓地軟弱地盤による不同沈下であることを裏付ける。以上より、衛星画像では低地と微低地の配列を空中写真と同レベルで判読できたため、衛星画像による実体視判読は軟弱地盤分布地域の地形分類に対し、十分適用性があると考えられる。



図-10 1/1万衛星画像による山地斜面(斜面崩壊地)  
判読結果と長崎豪雨による斜面崩壊分布

表-1 斜面地形毎の斜面崩壊地の面積とその分布割合

地形	頂部平坦面	上部谷壁斜面	谷頭斜面	谷頭凹地	下部谷壁斜面	谷底
面積(m <sup>2</sup> )	1196.0	3073.0	20209.0	5919.0	3686.0	2979.0
割合(%)	3.1	8.1	53.2	15.6	9.7	7.8

## (2) 斜面地形と斜面崩壊地の関連性

昭和57年7月の長崎豪雨による斜面崩壊が、斜面地形のうち、主としてどの斜面地形から発生したかを調べるために、1/1万衛星画像の実体視判読から地形分類を行った(図-10)。なお、この衛星画像では、1/5千で判読できなかった下部谷壁斜面を判読できた。これは、1/1万衛星画像は判読をする際に1/5千の画像よりも地形を大きく眺めることができるために、隣接地形との傾斜変換部を把握しやすかったためである。

図-10を概観してみると、尾根状の地形である上部谷壁斜面の崩壊は少なく、谷頭凹地と谷頭斜面での崩壊が目立つ。そこで、図-10に示される斜面地形と斜面崩壊地をオーバーレイし、各地形に対する斜面崩壊地の面積とその分布割合を求めた(表-1)。こ

れを見てみると、図-10 の範囲での斜面崩壊の 53.2% が谷頭斜面で、15.6% が谷頭凹地で発生していることが分かる。一方、凸状緩斜面である頂部平坦面ではほとんど斜面崩壊は発生せず、尾根状の地形である上部谷壁斜面での発生も少ない。一般的に、不安定斜面で下方・側方侵食による崩落予備物質が堆積していると考えられる谷頭凹地と、馬蹄形をなし、降雨時には流水を集めやすい谷頭斜面は、豪雨時に斜面崩壊を起こしやすいと考えられ、表-1 はその様相を定量的に示していると思われる。もちろん、崩壊現象は斜面地形だけでなく斜面傾斜にも関係しているが、写真判読では斜面地形の定量的把握はできない。以上より、衛星画像では斜面崩壊に関わる斜面地形を判読することができ、ALOS データが斜面崩壊発生地の、主として斜面形状に着目した特定にある程度適用できると考えられる。また、斜面微地形のような斜面の傾斜変換部が不明瞭な地形に対しては、1/5 千のような大きな縮尺よりも 1/1 万程度の中程度の縮尺の方が判読しやすいことが分かった。

## 5. まとめ

本稿では ALOS データのステレオペア画像を作成し、沖積平野(干拓地)の微地形と斜面崩壊地の山地斜面地形の実体視判読を実施し以下の結果を得た。

- (a) ALOS データからのステレオペア画像は、パンシヤープ化と衛星軌道の考慮により GIS を用いることで簡単に作成できる。
- (b) 沖積平野(干拓地)では、微高地に対する解像度の問題はあるが、衛星画像でも空中写真と同程度に微高地、低地、微低地を地形区分できた。これより、諫早湾における近世の干拓地軟弱地盤の不同沈下地帯を抽出することができた。
- (c) 山地斜面では、大きな縮尺(1/5 千)での衛星
- (d) 画像判読では傾斜変換線の判読にやや難はあるが、空中写真とほぼ同程度の斜面形状についての地形分類ができた。これより、長崎豪雨による斜面崩壊が主として谷頭凹地と谷頭斜面で生じたことを定量的に捉えることができた。なお、1/1 万の中程度の衛星画像を用いれば、斜面区分の判断材料となる斜面の傾斜変換部の判読が容易になる。

最後に、本稿で示した地形区分図(図 2、図 3 など)程度の狭い範囲のみの判読の場合、カラー空中写真の方が ALOS 画像より費用は安価である。しかし、例えば図 1 全体を包括するような広い範囲を判読するには費用やデータ保管の容易さの面で ALOS データは有利であると考えられる。今後の課題としては、

例えば段丘面区分や活断層のリニアメント判読など、本稿の方法の適用事例を増やし、普及に努めたい。

**謝辞：**本研究には平成 20 年度科学研究費補助金(基盤研究(C))；課題番号 18500780 「人工衛星データによる斜面特性の評価の詳細研究」(研究代表者 黒木貴一)の一部を利用した。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 長谷川淳・太田岳洋：自然災害要因抽出における高分解能衛星画像の利用に関する検討、日本応用地質学会研究発表会講演論文、2004, 145-148, 2004.
- 2) 白石貴司・筒井健・中川英朗・江崎哲郎：高分解能衛星画像を用いた台湾小雪渓流域における土石流に伴う土砂移動分析、応用地質、49, 1, 23-33, 2008.
- 3) 大矢雅彦：衛星写真判読による小縮尺地形分類図の試作-ジャワ島東部の場合、東南アジア研究、13, 3, 70-480, 1975.
- 4) 渡邊三津子 : CORONA 衛星写真ポジフィルムのデジタル化による利用とその有効性-中国トルファン盆地の活断層と遺跡を例に、地學雑誌、111, 5, 759-773, 2002.
- 5) 小荒井衛・佐藤浩・宇根寛・天野一男：各種光学高分解能衛星画像による地質災害の判読-判読特性の観点から見た各種画像の比較検証、地質学雑誌、114, 12, 632-647, 2008.
- 6) 黒田圭介・黒木貴一：衛星画像を利用した地形区分の試み、2009 年春季学術大会日本地会発表要旨集、75, p218, 2009.
- 7) 黒木貴一・黒田圭介：ALOS データによる地形区分の試み、日本応用地質学会平成 21 年度研究発表会講演論文集、161-162, 2009.
- 8) 財団法人諫早湾地域振興基金(編著) : 謳早湾干拓のあゆみ、580pp, 1993.
- 9) 黒木貴一・磯望・後藤健介・宗建郎・黒田圭介：長崎豪雨災害地の環境変化に対する総合的調査、平成十八～二十年度基盤研究(B)人工衛星データによる斜面特性の評価の詳細研究、131-136, 2009.
- 10) 田村俊和：湿潤温帯丘陵地の地形と土壤、ペドロジスト、31, 135-146, 1987.
- 11) 中西正・菊池多賀夫：愛知県尾七湿原地のシデコブシ群落とその立地について、奥田重俊先生退官記念論文集「沖積地植生の研究」、17-22, 2001.
- 12) 棚橋由彦・藤田道浩・土肥孝史・武政剛弘・後藤恵之輔・古本勝弘：沈下要因を総合評価した長崎県諫早干拓地の地盤沈下予測、長崎大学工学部研究報告、21, 37, 195-203, 1991.

(2014. 5. 9 受付)