

# インターバルカメラを用いたオオキンケイギクの開花量の推定方法

## Method for Estimating the Flowering Amount of *Coreopsis lanceolata* Using Time-lapse Camera

小栗 ひとみ\* 畠瀬 頼子\*, \*\* 松江 正彦\*\*\* 栗原 正夫\*

Hitomi OGURI Yoriko HATASE Masahiko MATSUE Masao KURIHARA

**Abstract:** The removal of *Coreopsis lanceolata* that was designated an invasive alien species have been attempted in river levees. However, in some cases, due to that it is not the best timing to perform the herbicide, there is also a risk of spreading the habitat not only to achieve the effect of the control. For full effectiveness, it is necessary to know the exact timing of flowering and fruiting of *C. lanceolata* in the region. Therefore, we have studied a method to understand quantitatively the amount of flowering, by analyzing the images captured using a time-lapse camera. Image analysis was performed in two ways, bloom color extraction and calculation of GRVI(Green-Red ratio Vegetation Index). Flowering color extraction results were in good agreement with the trends in the number of flower heads. As a result, we have confirmed that to shoot consecutive images by time-lapse camera, is an effective technique that can substitute for field measurement of the number of flowering.

**Keywords:** *Coreopsis lanceolata*, time-lapse camera, image analysis, flowering amount

**キーワード:** オオキンケイギク, インターバルカメラ, 画像解析, 開花量

### 1. はじめに

特定外来生物オオキンケイギク (*Coreopsis lanceolata*) については、平成3年より5年に1回の頻度で実施されている河川水辺の国勢調査において、確認河川および確認地区の割合が経年的に増加し、分布が拡大していることが報告されている<sup>1)</sup>。一方、河川における防除の取り組みは、平成18年2月の国土交通大臣を主務大臣等とする防除の公示を踏まえ、除草等の河川管理行為を「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律」第11条に基づく防除と位置付けた対策が進められている<sup>2)</sup>。

河川の維持管理における除草は、堤防の強度保持や状態把握のために、出水期前と台風期の点検に支障が生じないように、概ね5~7月頃と8~10月頃の年2回、機械による刈り取りを基本として実施されている<sup>3)</sup>。刈り取りによる管理では、株そのものを除去する効果は低いものの、結実前に刈り取りを行えば、種子の拡散を防止することができる<sup>4)</sup>。堤防延長は極めて長大であるため、延長に沿って順次刈り取りを進めていく場合、区間によっては管理適期を逸してしまう可能性がある。管理時期が結実後となった場合には、除草作業中や運搬時に、拡散を助長してしまうことにもなりかねない。より効果的、効率的な防除を行うためには、当該地域におけるオオキンケイギクの開花結実の時期を正確に把握し、それを踏まえた作業工程の設定が重要である。

オオキンケイギクは全国的に逸出している<sup>5)</sup>。開花結実の時期は気候に影響を受けており、南北に長い日本では開花結実の時期は大きく異なる。そのため刈り取りに効果的な時期も異なるものと予想される。広域で刈り取り時期を推測するためには、気候と開花結実の時期の関係を定量的に知る必要があるが、広域において連続的な開花結実のデータを、現地調査によって定量的に得るには、多大な労力が必要となる。インターバルカメラを用いて自動撮影した画像を解析することで、開花結実の推移を定量的に捉えることができれば、広域にわたるデータを低コストで効率的に取得することが可能となる。

インターバルカメラを利用した調査手法については、GRVI値と植生や地表の季節変化の関係を解析した研究<sup>6)</sup>や、湿原環境における植生や生物季節の変化追跡を行った研究<sup>7)</sup>があり、その有効性が示唆されている。環境省のモニタリングサイト1000における高山帯の調査でも、開花フェノロジーの調査方法として採用されており<sup>8)</sup>、オオキンケイギクの開花量の把握においても有効なツールとなりうる。ただし、全国の河川管理の現場において汎用的に使用するには、より安価で簡便に使えることが不可欠である。そこで、インターバルカメラの中でも、より汎用性の高いツールを用いて、連続撮影した画像からオオキンケイギクの開花量の推移を定量的に把握する手法について検討を行い、頭花数の現地計測との比較によりその有効性を検証した。

### 2. 調査方法

#### (1) インターバルカメラによる連続撮影

調査対象地は、オオキンケイギクの生育が確認されている国の直轄河川の中から、気温条件の異なる岩木川(青森県弘前市駒越地先および青森県板柳町板柳地先)、鬼怒川(栃木県さくら市氏家地先)、木曾川(岐阜県各務原市川島笠田町地先)の3河川の高水敷とした(表-1)。各河川のオオキンケイギク生育地に、インターバルカメラ2台および1m×1m調査区5区(生育数が少

表-1 調査対象河川の諸元

河川名	調査対象地	緯度	経度	標高(m)	暖かさの指数(WI)	クライメイトゾーン
岩木川	青森県弘前市駒越地先	40.609	140.448	33.0	85.1	8b
	青森県板柳町板柳地先	40.694	140.454	12.0		
鬼怒川	栃木県さくら市氏家地先	36.676	139.950	161.0	114.5	9a
木曾川	岐阜県各務原市川島笠田町地先	35.373	136.824	17.0	133.8	9b

WIおよびクライメイトゾーンは、青森地方気象台、宇都宮地方気象台および岐阜地方気象台の2005~2009年における各月の平均気温ならびに最低気温データを用いて算出した。

\*国土交通省国土技術政策総合研究所 \*\*一般財団法人自然環境研究センター \*\*\*神奈川県(前 国土交通省国土技術政策総合研究所)

なかった岩木川は2区)を設置した。インターバルカメラは、汎用性の高いカメラとして、環境省のモニタリングサイト1000等で実績のあるBrinno社製Garden Watch Camを使用した。また、インターバルカメラは、調査区もしくは調査区近傍の範囲で、できるだけ多くのオオキンケイギク個体が、個々の花が識別できる範囲で写り込むよう位置を調整し、撮影間隔2時間で頭花の連続撮影を行った(図-1)。なお、調査地点の決定に際し河川管理者との協議を要したため、撮影開始時期が岩木川は平成22年7月1日、鬼怒川は平成22年6月2日、木曽川は平成22年5月16日と異なっているが、いずれも平成22年8月31日まで撮影を継続した。

### (2) 頭花数の計測

1m×1m調査区において、「未開花」、「開花」、「開花終了(初期)」(花弁がしおれ、花弁の色が濃い黄色に変化したもの)、「花弁なし」の分類により、頭花数を計測した。調査は、平成22年6月~8月にかけて、1週間に1回の割合で、岩木川は7回、鬼怒川は11回、木曽川は10回実施した。

### (3) 開花画像の解析

インターバルカメラの画像データセットごとに、オオキンケイギクが一樣に開花している範囲を切り出し、GRVI (Green-Red ratio Vegetation Index) の算出および開花色の抽出の2通りの方法を用いて画像解析を実施した。解析の手順を図-2に示す。

解析対象画像数は、岩木川71枚、鬼怒川143枚、木曽川170枚であった。前処理として、AVI形式で記録された連続画像の中から各日で最も撮影状態の良い画像を選び(図-3)、JPEG形式に変換した後、解析対象範囲の切り出しを行い、解析用画像を作成した。対象範囲の切り出しは、オオキンケイギク以外の地物などの影響を排除する目的で行い、切り出し面積はインターバルカメラごとに一定とした。また、天候の違い等による明るさのバラツキを補正するため、Adobe Photoshopにより輝度の平均値を256階調の中央値付近に調整することによって標準化を行った。

解析手法として用いたGRVIは、主に衛星リモートセンシングデータの解析に用いられる分光指数の一種で、2.1式により算出される<sup>9,10)</sup>。-1~1の値をとり、紅葉などの葉色の変化を把握しやすい<sup>9)</sup>。算出には、ArcGIS 9.3 Spatial Analystのラスタ演算機能を用い、GRVIの統計量(平均値、標準偏差、最大値、最小値)を求めた。

$$GRVI = (Band2 - Band1) / (Band2 + Band1) \quad (2.1)$$

ただし、Band1は赤色光の反射率、Band2は緑色光の反射率を示す。ここでは、JPEG画像が保持するRGBの3Bandのうち、Band1 (Red)、Band2 (Green)を用いた。

また、開花色の抽出では、Adobe Photoshopの自動選択ツールを用いて開花色エリアを画面上で選択し、選択された範囲を黒色、それ以外の範囲を白色に二値化して、各画像の全ピクセル数に占める開花色エリアのピクセル数の割合(開花色面積率)を算出した。

### (4) 解析手法の有効性の検証

画像解析によって求められたGRVI平均値および開花色面積率について、誤差分布としてポアソン分布を仮定し、説明変数に一方はGRVIを、他方は開花色面積率を用いて、リンク関数を“log”とする一

般化線形モデル(GLM)<sup>10)</sup>を2種類作成した。また、調査方法が3つのブロック(河川)に各2台のカメラを固定し、繰り返し撮影を行うというネスト構造(入れ子型の階層構造)をとることから、説明変数にネスト構造を表す項(河川/カメラ/GRVIあるいは開花色面積率)を加えたモデルも同様に作成した<sup>11)</sup>。いずれのモデルも、目的変数は、河川ごとに記録された全頭花数とした。ただし、頭花数を求めた際の調査地点数が河川間で異なるため、調査地点数の対数をオフセット項として加え、補正を行った<sup>10)</sup>。次に、このようにして作成した4種類のモデル(GRVI・開花色面積率×ネスト構造の考慮あり・なし)の中から最も当てはまり

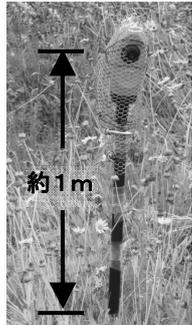
	画素数	1.3メガピクセル	
	焦点距離	マクロモード:約50cm 通常モード:約1.0m~	
	水平画角	49°	
	動画フォーマット	AVI(JPEG切出し可能)	
	撮影間隔	プリセット: 1分、5分、30分、1時間、 4時間、24時間 カスタム: 5秒~11時間59分	
	記録画素数	1280×1,024画素	
	記憶媒体	USBフラッシュドライブ (8GBまで対応)	
	電源	単三乾電池×4本	
大きさ(幅)×(高さ)×(奥行き)	9.3×19.2×5.3cm	電源持続時間	4~6ヶ月 (撮影頻度により異なる)
質量	約260g(本体のみ)	その他	飛沫防水

図-1 インターバルカメラの諸元および設置状況

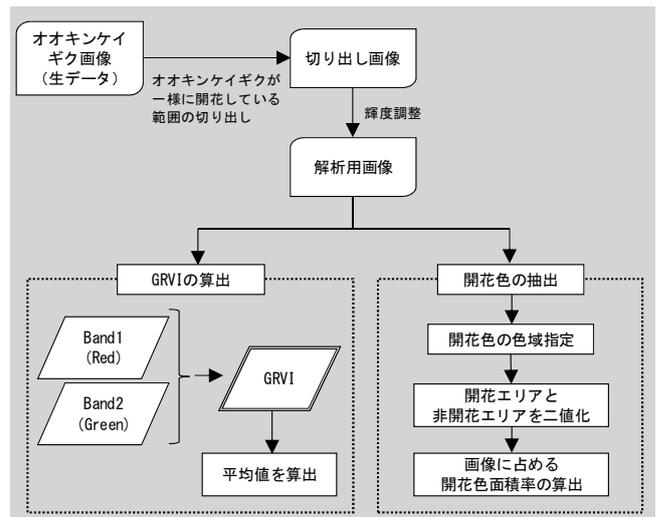


図-2 画像解析の手順

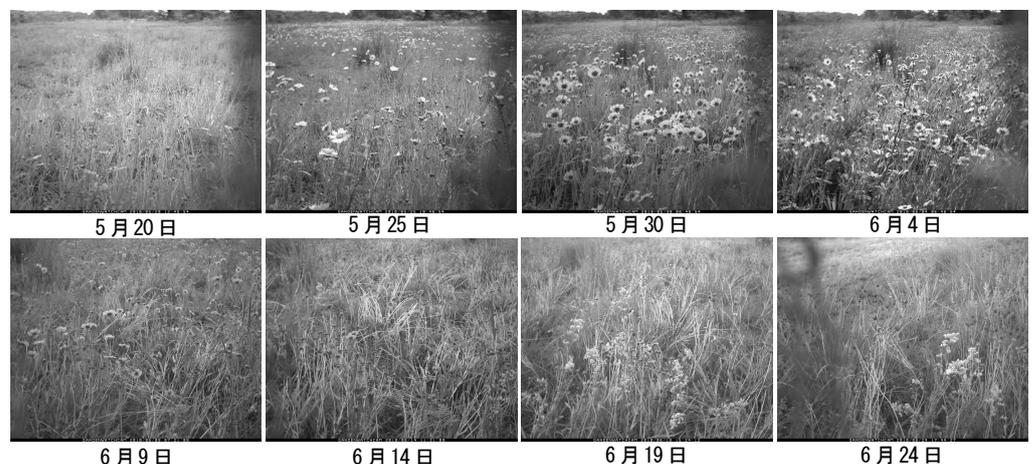


図-3 インターバルカメラで撮影された画像

木曽川で5月20日~6月24日に撮影された画像を5日間隔で並べた例。

のよい説明変数の組合せを探るために、AIC（赤池情報量基準）<sup>12)</sup>を用いたモデル選択を行った。これにより、GRVI と開花色面積率のいずれが、頭花数を予測する指標として当てはまりが良いのかを判断した。最後に、モデル選択によって得られた最も当てはまりの良いモデル（ベストモデル）には、ネスト構造を表す項が含まれていたことから、計6台のカメラでの調査結果それぞれについてポアソン回帰分析を行い、結果を比較した。これらの解析には、統計解析ソフト R ver.2.15.2 を用いた<sup>13)</sup>。

### 3. 結果

#### (1) GRVI 平均値、開花色面積率および平均頭花数の推移

河川ごとの GRVI 平均値、開花色面積率および全調査区の平均頭花数の推移は、図-4 のとおりである。

岩木川での GRVI 平均値は、7月1日および7月8日にピークを示した後、変動を繰り返しながら緩やかに減少した。最低値は8月8日であったが、その後も上昇、下降を繰り返す結果となった。一方、開花色面積率は、7月1日にピークを示した後急速に減少し、7月10日には1/4程度の値となった。その後も緩やかに減少し、平均頭花数の推移傾向と概ね対応する結果を示した。

なお、GRVI は赤・黄系統の色が強いほど値が低くなり、逆に開花色面積率は黄色の開花が多いほど値が高くなる。したがって、両者の推移は、オオキンケイギクの開花期から結実期にかけて対照的な傾向を示すものと考えられるが、岩木川ではそのような傾向は認められなかった。

鬼怒川の GRVI 平均値は、6月中旬までは0.05~0.1程度の値を示し、それ以降はやや高い0.1~0.2程度で推移した。最低値は6月9日、最高値は7月16日であった。一方、開花色面積率は、撮影開始から急激に増加し、6月9日に最大に達した後、急激に低下しており、平均頭花数の推移傾向とよく対応する結果となった。鬼怒川においては、GRVI 平均値は盛花期に低い値を示し、開花終了につれて値が高くなったが、開花色面積率は盛花期に高い値を示し、開花終了につれて値が低くなるといった対照的な傾向を示した。

木曽川の GRVI 平均値は、5月下旬から6月上旬に0~0.1程度の値を示し、6月中旬以降はやや高い0.1~0.15程度で推移した。最低値は6月3日、最高値は5月24日であった。一方、開花色面積率は、5月22日頃から急激に増加して6月3日に最大に達した。その後、急激に低下して6月中旬には0に近い値で横ばいとなり、平均頭花数の推移傾向とよく対応する結果となった。木曽川においても、GRVI 平均値と開花色面積率との関係は、鬼怒川同様対照的な傾向となった。

#### (2) 解析手法の有効性の検証

頭花数の予測には、GRVI を説明変数に含むモデルに比べて開花色面積率を説明変数に含むモデルの方が当てはまりが良く、AIC が最小となるベストモデルには開花色面積率とネスト構造を表す項（河川カメラ/開花色面積率）が含まれていた（表-2）。次に、カメラごとにポアソン回帰分析を行った結果、いずれのカメラで撮影した場合にも、開花色面積率が高いほど頭花数も有意に多いことがわかった（表-3、図-5）。

### 4. 考察

#### (1) 画像解析手法の有効性と限界

オオキンケイギクの開花量を把握する手法として、開花色の抽出による面積率の算出が有効であることを確認した。今回の画像解析で用いた方法は、Adobe Photoshop 等の一般的な画像編集ソフトを利用したものであることから汎用性も高い。

一方、GRVI を用いた方法では、オオキンケイギクの開花量を説明できない結果となった。その原因として、画像の全体的な色

調にむらがあったことや、画像の切り出し面積に占めるオオキンケイギクの開花エリアの面積割合が、最大でも48%程度にとどま

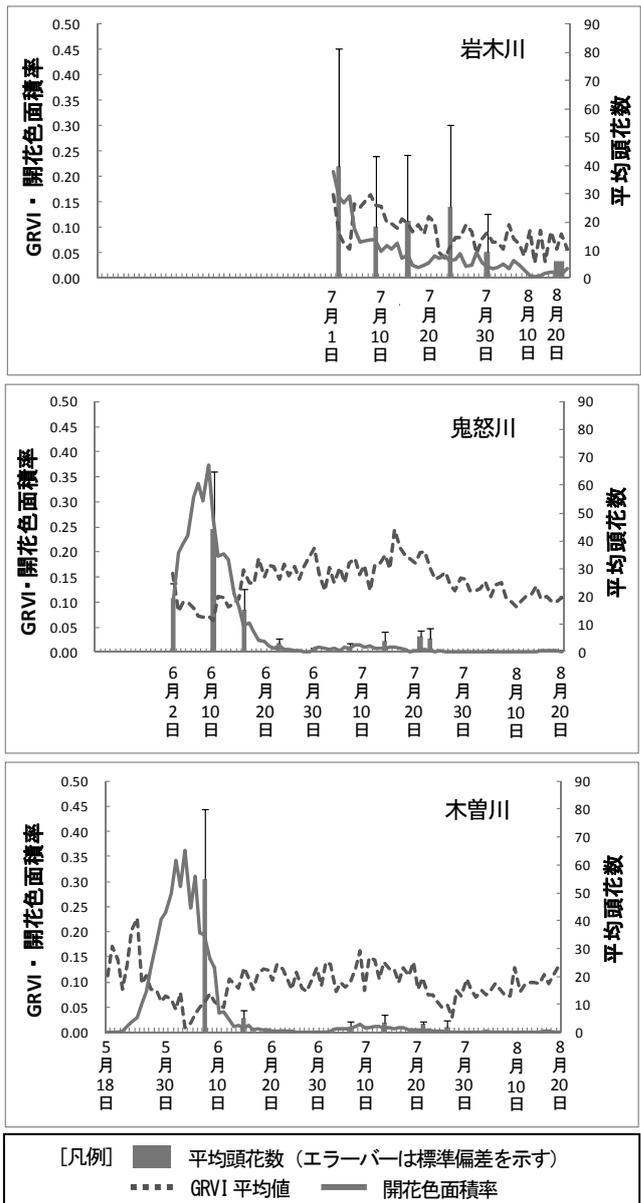


図-4 各河川における画像解析値および頭花数の推移  
画像解析は、開花期間終了に伴い開花が0となった日以降の画像を除外して行った。解析対象画像の撮影期間は、岩木川7月1日~8月28日（うち8/13~26欠測）、鬼怒川6月2日~8月25日（うち7/23~29欠測）、木曽川5月18日~8月19日である。

表-2 頭花数を予測する一般化線形モデルのAICによる比較

モデル	説明変数	ネスト構造	AIC	$\Delta AIC$
1	開花色面積率	河川/カメラ/開花色面積率	718	0
2	開花色面積率		1535	817
3	GDVI	河川/カメラ/GDVI	2486	1768
4	GDVI		3184	2466

表-3 カメラごとのポアソン回帰分析の結果

カメラ	標準回帰係数	S.E.	Z値	P値
岩木川No.1	0.508	0.061	8.29	<0.001
岩木川No.2	0.308	0.072	4.29	<0.001
鬼怒川No.1	0.719	0.029	25.11	<0.001
鬼怒川No.2	0.791	0.033	24.17	<0.001
木曽川No.1	1.090	0.040	27.05	<0.001
木曽川No.2	1.134	0.045	25.02	<0.001

頭花数に対する開花色面積率の標準回帰係数を示している。

ったことの2点が考えられる。1点目の色調のむらについては、非開花期であっても赤味を帯びた画像のGRVIは開花期並みに低い値となり、逆に開花期であっても緑色味を帯びた画像は非開花期並みに高い値になるものがみられるなど、開花量よりも画像の全体的な色調がGRVIの値に影響する傾向があった。画像に色調の違いが生じた原因としては、天候や時刻の違いによる太陽光スペクトルの変化や、インターバルカメラに搭載されたセンサ方式(CMOS)等の影響が想定されるが、これらが複合的に関与している可能性もある。2点目の画像の切り出し面積に占める開花エリアの面積割合については、開花エリア以外を占めるとみられる緑色系の色によりGRVIの値が相殺されたものと考えられる。切り出し面積をより小さくすれば、盛花期において画像内に占める開花エリアの面積割合は増加するが、一方で、面積を小さくするほど写り込む開花数は少なくなることから、盛花期を過ぎて疎らに咲く段階の開花量や開花期間を過小評価することになる。そのため、対象地域における開花量の推移および開花期間を把握する上では、切り出し面積をあまり小さくすることは適当ではない。GRVIは、一般的にNDVIでは捉えることが困難とされる紅葉・黄葉等の葉色変化の把握に用いられ、有効性が確認されているが<sup>9)</sup>、画面一面の色調を変化させるような葉色変化の把握には有効であっても、オオキンケイギクの開花量の把握手法としては限界があるものと考えられる。

## (2) インターバルカメラの設置方法

インターバルカメラによる連続画像の撮影は、オオキンケイギクの開花結実に関するデータを、広域かつ連続的に取得する上で有効な手法であり、開花数の現地計測を代替できることが確認された。より効率的に画像解析を行うためには、インターバルカメラの設置にあたり、以下のような点について留意する必要がある。

- ・インターバルカメラの設置位置とオオキンケイギクの個体との距離が接近していると、大写しになって開花面積を過大に評価することになるため、個々の花が識別できる範囲で、できるだけ多くの個体が写り込むよう位置を調整する。
- ・オオキンケイギクの開花色の誤推定の原因になる黄色系統の色(標識ロープなど)が写り込まないようにする。また、できるだけ人工構造物等の地物や背景の空などが入らないように画角を調整すれば、画像の切り出しにかかる労力を軽減することができる。
- ・葉や果実など、オオキンケイギクの花以外の植物体に光が反射して白い色調となると、花に光が反射した色調との差異がなくなり、開花色の誤推定の原因になるため、設置方向は昼間の反射の強い南向きを避ける。
- ・USBメモリからのデータの回収等で、インターバルカメラの画角にずれが生じないようにする。

## 5. まとめ

現地調査の結果から、オオキンケイギクは開花がピークとなる時期に結実も最大となることが推察されるため、より確実に拡散防止を図るためには、開花前もしくは開花初期までに刈り取りを行う必要がある。図-4からは、除草適期として、鬼怒川は5月下旬～6月初旬、木曾川は5月中旬～5月下旬が想定される。ただし、岩木川については開花時期のデータが取得できていないこと、また鬼怒川、木曾川についても単年度のデータであることから、今後も調査を継続しデータ精度を上げる必要がある。さらに東北から九州までの広範囲にオオキンケイギクの分布が確認されている<sup>10)</sup>ことを踏まえ、対象とした3河川とは気象条件の異なる地方の調査を進めていく必要がある。

謝辞: 調査にあたっては、青森河川国道事務所、渡良瀬河川事務

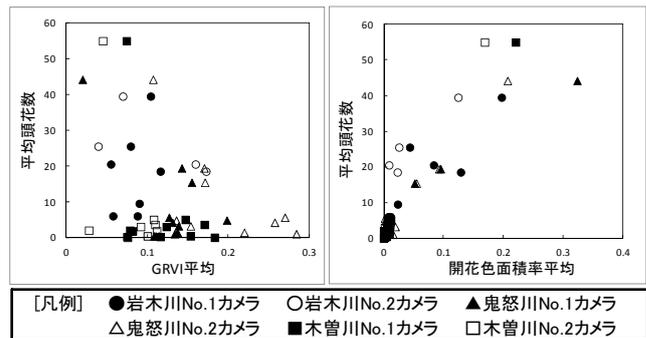


図-5 平均頭花数と各画像解析値との関係

所、下館河川事務所、木曾川上流河川事務所、松山河川国道事務所に大変お世話になった。統計解析では、国土技術政策総合研究所の上野裕介博士にご協力いただいた。以上の方々にご心よりお礼申し上げる。

## 補注及び引用文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課 (2012) : 平成 22 年度河川水辺の国勢調査結果の概要 : 河川環境データベースホームページ <<http://mizukoku.nilim.go.jp/ksnkankyo/mizukokuweb/download/h22.htm>>, 2012.9.26 参照
- 2) 外来種影響・対策研究会 (2011) : 河川管理者による防除 : 河川における外来種対策の考え方とその事例【改訂版】—おもな侵略的外来種の影響と対策— (第2版) : 財団法人リバーフロント整備センター, 46-47
- 3) 国土交通省河川砂防技術基準維持管理編(河川編) : 国土交通省水管理・国土保全局ホームページ <[http://www.mlit.go.jp/river/shishin\\_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/jikanri/index.html](http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/jikanri/index.html)>, 2012.9.26 参照
- 4) 瀬尾頼子・小栗ひとみ・松江正彦 (2010) : 刈り取り管理の時期および回数が特定外来生物オオキンケイギクに及ぼす影響と防除効果 : ランドスケープ研究 73(5), 421-426
- 5) 清水建美 (2003) : 日本の帰化植物 : 平凡社, 500pp.
- 6) Takashi Motohka, Kenlo Nishida Nasahara, Hiroyuki Oguma and Satoshi Tsuchida (2010) : Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology, Remote Sensing 2010(2), 2369-2387
- 7) 高田雅之・小熊宏之・井手玲子・丹羽忍 (2009) : デジタルカメラによる湿原環境のモニタリング : 日本湿地学会第3回大会講演要旨, 03
- 8) 高山帯調査マニュアル (2012) : 環境省生物多様性センターモニタリングサイト1000ホームページ <[http://www.biodic.go.jp/moni1000/manual/Alpine-region\\_manual.pdf](http://www.biodic.go.jp/moni1000/manual/Alpine-region_manual.pdf)>, 2012.9.26 参照
- 9) Compton J. Tucker (1979) : Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, Remote Sensing of Environment 8(2), 127-150
- 10) 下野嘉子 (2010) : R を用いた一般化線形モデル(回帰係数編) : カウントデータを例に : 雑草研究 55(4), 287-294
- 11) 久保拓弥 (2012) : データ解析のための統計モデリング入門 : 一般化線形モデル・階層ベイズモデル・MCMC : 岩波書店, 131-134
- 12) Akaike, H. (1973) : Information theory and an extension of the maximum likelihood principle, In *Second international symposium on information theory*: (eds. B. N. Petrov & F. Csaki), Budapest, Hungary, Akademiai Kiado, 267-281
- 13) R Core Team (2012) : R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0, <<http://www.R-project.org/>>, 2012.12.7 参照