

Balloon を用いた空中写真による植生判読

鈴木 邦雄・長野 敏英・渡辺 隆一

**AN AERIAL PHOTOGRAPHIC SURVEY AND VEGETATION MAPPING
USING A BALLOON**

Kunio SUZUKI, Toshihide NAGANO and Ryuichi WATANABE

Balloon を用いた空中写真による植生判読

横浜国立大学経営学部 鈴木 邦雄
東京農業大学農学部 長野 敏英
信州大学教育学部 渡辺 隆一

AN AERIAL PHOTOGRAPHIC SURVEY AND VEGETATION MAPPING USING A BALLOON

Kunio SUZUKI, *Yokohama National University, Yokohama 241, Japan*
Toshihide NAGANO, *Tokyo University of Agriculture, Tokyo 156, Japan*
and
Ryuichi WATANABE, *Shinshu University, Nagano 381-04, Japan*

Synopsis Information on vegetation patterns is an important for land preservation and management. To simplify the vegetation survey process, we explored the potential for using a balloon as a platform for aerial photography. By this method, large-scale vegetation changes can be detected in a short period of time. The aerial photograph and associated vegetation analysis were carried out at Shiga Heights in Nagano Prefecture, Japan.

Key Words: Aerial Photograph, Balloon Method, Vegetation Map, Remote Sensing, Shiga Heights

緒 言

地表を広く覆っている植生は、陸域生態系における生物的な場を創出しており、同時に景観の主要な構成要素になっている。また、植物個体の集団としての植生は、構成要素としての植物個体の生態的属性に依存しているために、立地の自然環境と人間活動の影響に関する総合的なインディケータールとして位置づけることもできる。

自然環境の保全と修復を考えると、植生の実態を把握し、変動過程を解析することがまず求められる。しかも植生は季節的および時系列的な変動が多いため、その把握・解析には頻度の高い生態調査が必要となる。そこで、植生の実態と変動を把握し、追跡調査する方法のひとつとして、Balloon を用いた空中写真による植生判読を筆者らは国内外で試みている。今回は、志賀高原地区をセンサスの対象とした Balloon 法を用いた空中写真の撮影・判読を実施することによって、Balloon 法による植生把握・解析手法の開発並びに確立を目的とした研究を実施している。

調査地概況



図1 調査地の位置図(志賀高原)

今回のバルーンを用いた空中写真の撮影と植生図調査は、図1に示す長野県下高井郡志賀高原の2カ所を中心に行っている。信州大学教育学部附属志賀教育研究施設内の長池・長池湿原・隣接地をセンサスの第1プロットとし、同じ志賀高原の田ノ原湿原をセンサスの第2プロットとして地点を選定している。第2プロットは、第1プロットの約600m南に位置している。海拔高度は、両プロットとも約1,600mである。

調査地に選定した志賀高原の2プロット付近は、志賀山溶岩台地に生じた亜鉾山針葉樹の原生林とそれに囲まれた湿原や池がほぼ自然状態で広がっている。現在上信越高原国立公園の特別保護地区に指定されており、日本で4カ所指定されているユネスコ (UNESCO) MAB計画の生物圏保護地域 Biosphere Reserveとしても注目されている。志賀高原の自然環境については、信州大学教育学部附属志賀自然教育研究施設(編)の『志賀高原野外観察ノート』(1991)に詳細な記載がある。志賀高原は、日本海側と太平洋側との境に位置し、冬季の西高東低型気圧配置のときに降雪の多い日本海式気候区に属する。長池(海拔1,500m)より約100m低い丸池では、月平均気温が -7.0°C (1月)、 17.8°C (8月)、降雨量の年平均が1,747mmとなっている。

比較的新しい火山性の地域の志賀高原では、特殊な植物・植生が少ないが、細かな起伏に富んだ地形に応じた多彩な植物・植生が見られるのが大きな特徴となっている。

植生とくに森林植生の分布は、センサスの第1プロットでもある長池付近の海拔1,500~1,600mを上限としている。海拔1,500m付近以高はコメツガ、オオシラビソを中心とする亜高山針葉樹林(植物社会学的にはシラビソ・オオシラビソ群集 *Abieto-Abietetum mariesii*-Gruppe)が、それ以低はダケカンバ、ミズナラ、(ブナ)を中心とする夏緑広葉樹林(植物社会学的にはシラカンバー・ミズナラ群集 *Betulo-Quercetum*

mongolicae grosseserratae, チシマザサ・ブナ群団 *Saso kurilensis-Fagion crenatae* ほか)が分布している。

調査場所および方法

今回使用した空中写真の撮影装置は、本調査研究のために新たなシステムを作成しており、そのシステムは図2に示すようにバルーン、ワイヤーケーブルと撮影装置一式から構成されている。撮影装置一式には、カメラセット、遠隔でシャッターを切るための送受信関係とこれらを含める容器から構成されており、重さが約2.5kgである。撮影装置を地上から数百mの高度の空中まで上げるのがバルーンの浮揚力であり、バルーンの位置を制御するのが地上からのワイヤーケーブルである。バルーンは容積が 15m^3 の球形のバルーン(重量:3.88kg)であり、浮揚のために使用したガスは、比較的安価で入手でき、爆発の危険性がないヘリウムガスである。ヘリウムガスは浮力が大きく、外気が1気圧、 20°C の場合、 1m^3 あたり1.206kgの浮力が働き、今回使用したバルーンの浮力は約15kgと計算される。ワイヤーロープは、予測されない張力が働く可能性が多く、少なくとも数百kg以上の強度が必要である。しかし、ロープの重量がそのまま浮力の負担となるため、比較的軽量で強度が高いナイロン製のロープを使用した。写真撮影の装置一式は、図2に示すように受信器、カメラ(Nikon F-801)、レンズ(Nikkor 35mm f/2, 28mm f/2.8)および地上部の送信器から構成されている。補助的にストロボも搭載している。写真撮影作業は遠隔操作で行われるシステムあり、地上部の送信器操作でバルーンに搭載しているカメラのシャッターが切れる。カメラのシャッターの作動時にストロボが閃光し、地上部でシャッター作動・撮影枚数が確認できる。焦点距離は無限大に固定しておき(自動焦点でも問題はない)、絞りはプログラム・オートモード(Nikon F-801本体機能)によって自動的に設定されている。使用するカメラは、今回用いた Nikon F-801の他にも Nikon F-501など電気信号でシャッター作動できる端子を有するカメラであれば互換可能である。シャッター作動の遠隔操作のための送受信装置に関して、市販(Nikon製)のシステムは送受信器の距離に対して電波が弱いために使用できず、デジタル・ラジコンシステム"SKY ATTACK-R (FP-T 3 NBR, 40.730MHz, Futaba製)"を改良して使用している。気球は、浮力との関係では500m以上の高度まで上げることもできるが、今回は地上部より数百mの高さまで揚げて撮影している。撮影に使用したフィルムは自然光フィルム(解析にはコダック製ネガカラー ASA100)であり、フィルターはSKY LIGHTである。

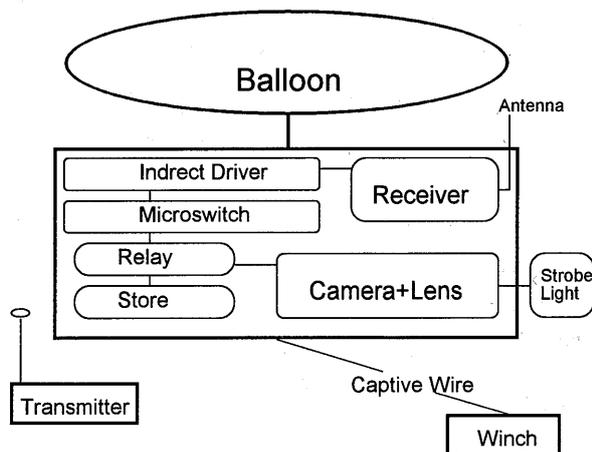


図2 Balloon法による空中写真撮影システム

結 果

写真データにおける周辺歪

写真撮影に際して問題となるのが歪である。この歪に関しては、長野(1990)が既に検討をしている。長野の検討によれば、レンズによる写真データの周辺歪はレンズ特性によるものであり、理論的解析・補正が非常に困難である。35mmおよび28mmレンズを用いた写真の長辺軸の実験では、写真の中心部に比べて周辺部(辺縁部)では約4%縮尺されるに留まる。この程度の歪は、植生図化を中心とした解析に用いるデータとして大きな支障とならず、一次データとして使用する限りでは、像のずれによる補正は行う必要がないと判断される。

撮影時におけるカメラの傾きによって生じる写真像のずれが問題となる。本来なら、ジャイロスコープ機構を設備するなど水平方向の制御をする必要がある。しかし、本手法は気球を使用する関係上、風速の弱い時間帯を選んで行うことを前提としており、一般に高度が高くなればなるほど大気の流れが少なく、カメラの揺れや傾きのずれが容認できる範囲であることが確認されている。さらに、制御装置を付加することによる総重量の増加が、バルーンの浮力とのバランスを崩すなどの問題を発生させることが憂慮され、採用していない。

なお、撮影高度(H)と写真画面寸法の関係は、

35mmレンズ……………0.95H × 0.64H

28mmレンズ……………1.19H × 0.80H

である。

地形の変化すなわち標高差による歪みも発生する。標高の高い場所は、低い場所に比べて、カメラに近く相対的に大きな像として写る。今回の撮影対象となった湿地、湖沼などの空中写真は、標高差が少なく、歪の発生も少ない事例としてあつかえる。

植生データの意味

Balloon法を用いた空中写真データが科学的データとして有効性を持つかどうかは、並行して行われる地上の生態調査による検証にかかっており、判読を行う者の現場の生態的知見が重要となってくる。何故なら、Balloon法で得られる空中写真データは、前項で示した歪があり、プリントされた写真データ一枚毎に彩度・明度・色調の細かな差異が生じるために、直接最終データとして利用するためにはスキャナーによるデータ処理に多くの補正が必要となる。人工衛星などからのリモートセンシングデータと違い、空中写真データはデジタル化されていないアナログデータであるため、レンズの解像度や微気象状態、フィルム条件、プリント技術などに解像度は依存する。人工衛星からのデータ(TM)が一般に数十mが分解能の限界であるのに対

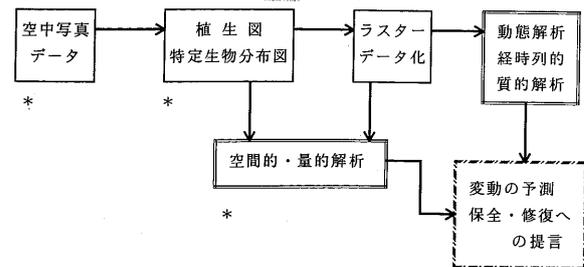


図3 空中写真データによる生態解析プロセス
(*: 今回の調査で実施した項目)

して、Balloon法によるデータは、数十cm程度まで判読可能である。

今回使った自然光フィルムとそのプリントは、視覚的に現場状況を的確に表現しているために、対象物・植物の位置と分布状況を概略的に掴むことはそれほど困難ではない。しかし、地上踏査による対象物の確認は勿論のこと、地形図上にプロットするためには目標物の設定や複数の写真データから判読することが必要であり、写真データから対象物の面積を測定するには細かな補正が行われなければならない。したがって、経費的にも手法的にも簡便なBalloon法を生かすためには、Balloon法によって得られた空中写真データに幾何補正を行い、デジタル解析することを積極的に提唱できない。現状を即時的に生態調査に用いることができる空中写真データ(撮影終了後すぐにフィルムを現像し、プリントをできる)としての意味がある。すなわち、生態調査資料として空中写真を使用するのであれば、空中写真データをそのまま補正して使うのではなく一度手作業によって植生図、生態分布図などに図化して、生態解析資料とすることがもっとも有効であると考えられる。

空中写真データ

今回 Balloon法によって撮影された空中写真データは、写真1, 3, 4の3枚である。地上からの写真撮影高度は、写真1がもっとも高く、写真4がもっとも低い。写真1及び3の写真から判読できる植生生態は、撮影時期が1992年5月29日ということもあり(志賀高原の海拔1,600m付近では早春季に当たる)、コメツガ、クロベ、オオシラビソなど常緑針葉樹の位置と樹冠の広がり、夏緑広葉樹ダケカンバの枝振りの展開、ハイイヌツゲの分布域、シナノザサの分布域(図4)、長池の湖岸植生の分布域などをあげることができる。一方、生物季節的に早すぎたために、湿原に進入し始めているヤマドリゼンマイの群落やマルバダケブキ・トリカブト等の高茎草原などの分布は、今回の空中写真データでは確認できない。また、判読精度の確認になるが、長池湿原を中心に撮影した空中写真データ(写真3)を見ると、湿原中央(写真のやや下部の中央部)の4名、その右手の5名などの人の姿も容易に判読・確認すること

ができる。

写真4は、田ノ原湿原(海拔約1,600m)の木道上からバルーンを揚げて、撮影した空中写真である。写真4の中央下端部の丸(○)の地点から、矢印の方位を向かって撮影したのが、写真5である。写真4と写真5の“c”は、木道である。撮影は、1992年5月30日に行われている。当日は天候が悪く、シャッター速度が遅く、絞り込みもできなかったため、色彩(コントラスト)の不明瞭さや撮影のぶれが生じるなどしている。しかし、人間の軽度の進入によって容易に劣化してしまう高層湿原における植生分布の変化を追跡調査する手法として、Balloon法が特に有効であることが確認できたことは、今回の調査の成果と考える。

特定植物の分布図

図3に示された生態解析プロセスにおける空間的解析にあたるものとして、特定植物の分布図を作成している。図4では、写真3の空中写真データを判読し、地上調査による補足を行い、シナノザサの分布図を作成している。ダケカンバの葉の展開以前であり、湿地内などに繁茂している草本植物の多くが新葉を成長させていないために、常緑のササ類のシナノザサの分布域の判読を容易にしている。季節的变化を現場で的確に判断し、もっとも適切な時期に空中写真データを撮影できることもBalloon法の特徴となることが分かる。

図4にまとめられているシナノザサの分布は、経時的に分布域の拡大・生態的変動が予測されており、今後数年毎にBalloon法による空中写真を撮影し、その変動を追跡調査することも興味ある研究課題である。図5では、長池湿原の周囲に生育している主要な樹木であるコメツガ、クロベ、オオシラビソ、ダケカンバの4種類について、代表的個体の分布図並びに樹冠投影図を作成している。夏緑広葉樹のダケカンバは、葉を付けていない枝の広がりからその樹冠投影を描いている。シナノザサの分布図に限らず、長池湿原における乾燥化傾向と連動したヤマドリゼンマイ、ハイイヌツゲ、シラカンバなどの植物の湿原への侵入・繁茂(分布域の拡大)を経時的に追跡することも生態学的に重要である。

考 察

バルーンを用いた生態調査は、数百m圏程度の広がり対象とした空中写真の撮影に簡便できわめて有効な手法であるだけでなく、係留したバルーンを簡易タワーとして用いることによる、熱・水分・二酸化炭素・メタン等の物質輸送の測定など微気象調査に用いることも可能である。筆者らは、既に東南アジアの湿地林などを対象とした空中写真の定点撮影による植生動態・土地利用変化などを追跡しており、また物質輸送

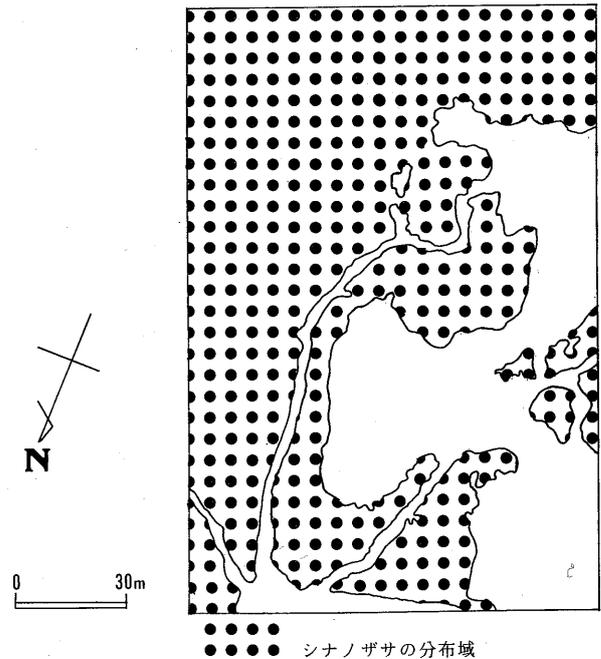


図4 特定植物分布図(シナノザサ)。

センサスのプロット1(長池湿地及び周辺域)を対象に特定植物の分布を判読できる。図7に示されているのは、シナノザサの分布域である。常緑のササ類であるため、5月下旬の調査において空中写真による判読にもっとも適した植物種である。コメツガ林などの森林内にも繁茂が確認されているので、地上調査による補完を行って作成している。特定植物の分布域を判読するのは、空中写真データのもっとも得意としているとも言える。数年後に、プロット1の空中写真を撮影し、1992年と比較すると、シナノザサの分布域の変動が追跡できる。

の生態調査・微気象測定の実績も有している。今後、国内の特定の生態系を対象として、この種の生態調査・微気象測定を進めて行きたいと考えている。

過去に海外(タイ、マレーシアなど)で調査の実績を持つBalloon法も、国内では若干のシステムの検討が必要になった。例えば、ラジコンシステムの電波を使ってカメラのシャッタースイッチを切る方式を採用しているが、使用する波長や場所によっては誤作動が頻繁に起きる問題がある。また、日本の航空法等によってBalloonの使用に制限や許可申請が必要であり、許可を受けない限り、必ずしも希望する高度まで上げることができない。

ま と め

自然環境は、自然的要因や人間活動の影響によって絶えず変化している。自然環境の要としての植生も季節的ならびに年次的に劣化・回復・安定など様々な遷移過程が認められる。この植生の変動をより簡便な方

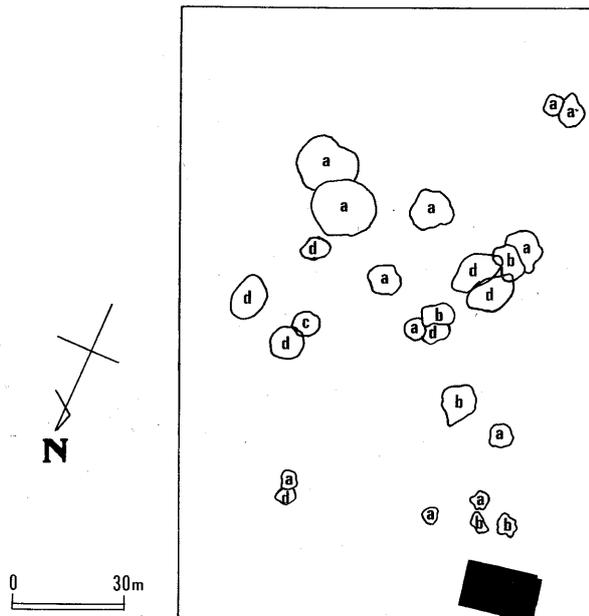


図5 特定植物の分布と樹冠投影。

- a: コメツガ *Tsuga diversifolia*: 亜高山性常緑針葉樹
 b: クロベ *Thuja standishii*: 亜高山性常緑針葉樹
 c: オオシラビソ *Abies mariesii*: 亜高山性常緑針葉樹
 d: ダケカンバ *Betula ermanii*: 亜高山性夏緑広葉樹

黒で示されている部分は、信州大学附属志賀自然教育研究施設である。

調査地点の海拔高は、長池湿地で約1,590mである。

法で把握し、解析するために今回の Balloon 法が有効である。さらに、湿原のように人間の侵入（たとえ調査のためであっても）によって容易に劣化・変化してしまう特殊な生態系の調査研究にも、リモートセンシングの一手法として Balloon 法を用いることが有効であることが明らかになった。今回の調査は、Balloon 法の開発・試験研究が主要テーマであり、志賀高原の湿原を主たるセンサスの対象としている。

自然環境の劣化と修復過程の解明が重要課題とされ

ている現在、Balloon 法を用いて湿原・湖沼などの空中写真データを季節的・経年的に撮影し、植生の変動を追跡調査することが望まれる。

本調査研究を行うにあたり、環境庁上信越高原国立公園志賀高原管理官事務所吉井雅彦氏から有意義なご助言とご協力をいただいた。また、植生解析・画像処理に際して、東京情報大学・原慶太郎助教授の協力をいただいた。ここに深甚の謝意を表す。本研究は平成3～5年度文部省科学研究費・総合研究A「生物圏保全地域における生物学的多様性の保全に関する研究」（研究代表者 東京農工大学教授・小倉紀雄）によるものである。関係各位に深く感謝申し上げる。

摘 要

1. 長野県志賀高原の2プロットを対象としてバルーンを用いた空中写真の撮影を行った。撮影された空中写真データについて、周辺歪、判読精度、撮影範囲、植生判読データとしての有効性などの検討をした。
2. 今回撮影された空中写真データを用いて、植生図および特定植物分布図を作成した。さらにバルーンを用いた生態調査の問題点等についても検討した。

引用文献

- STAR, J. & ESTES, J. 1990. Geographic Information Systems-An Introduction. Prentice-Hall Inc. (岡部・貞広・今井訳『入門地理情報システム』共立出版)
- 長野敏英. 1990. タイ国でのマングローブ林の研究—Balloonを用いた空中写真による調査—. 生物環境調節, 28(3): 119-124.
- 和田 清. 1982. 本州中央部の内陸地域における夏緑広葉樹林の植物社会学的研究(I). 志賀自然教育研究施設研究業績, 20: 1-40.

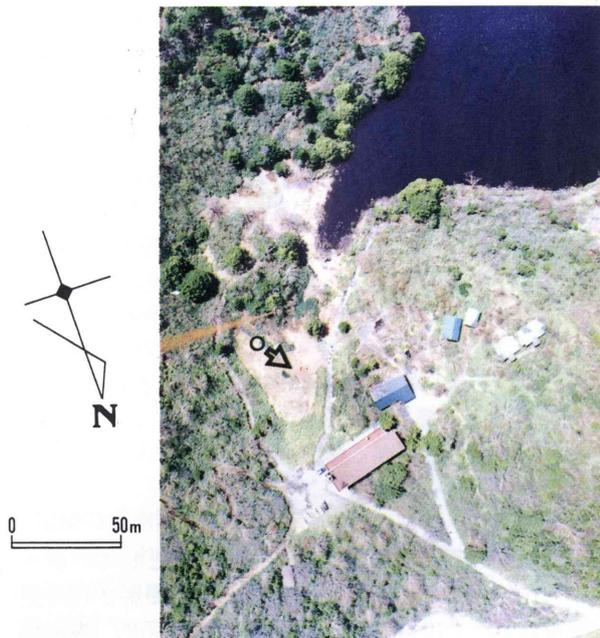


写真1 Balloon 法による空中写真(プロット1). 中央下部の建物が信州大学教育学部附属志賀教育研究施設で、その上が長池湿原、右上端が長池.



写真2 係留中の Balloon とセンサスのプロット1付近. 写真1の丸の地点から矢印の方を向かう.

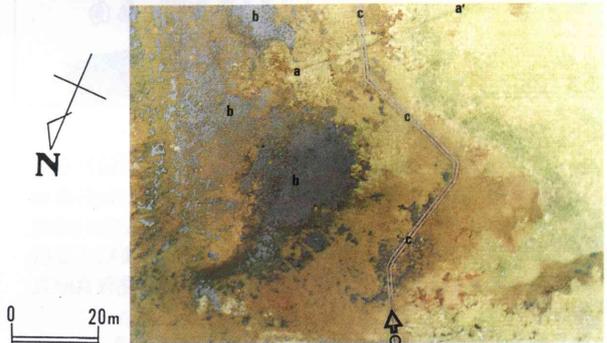


写真4 Balloon 法による空中写真(プロット2). 志賀高原の田ノ原湿原. プロット1(長池湿原)から南に約600mに位置しており、海拔高が約1,600mである. a-a': かつての排水路の跡, b: 開放水域(反射により、彩度に変化している), c: 木道.



写真3 長池湿原とその周辺の空中写真(プロット1).

長池湿原の中央にいる4名で Balloon を揚げています. そこから真下に延びている線(下程太くなっている)が Balloon を制御しているナイロンロープ. 撮影が1992年5月29日であり、タケカンバなど夏緑広葉樹は葉を展開させておらず、湿原の草本類の多くが新葉を付けていない. 地形的には、右上(北西部)がもっとも標高が高い. 図4および図5は、写真3の空中写真データから作成している.



写真5 プロット2(田ノ原湿原)の外観. 写真4の丸(○)から矢印の方向を望む. c: 木道.

