森林景観ロボットカメラの新機能開発と環境音記録に関する研究

A Study of the New Functions of a Forest Landscape Robot Camera and an Evaluation of Environmental Sound Records

斎藤 馨* 藤原章雄** 熊谷洋一* 塚口馨介*

Kaoru SAITO, Akio FUJIWARA, Yoichi KUMAGAI, Keisuke TSUKAGUCHI

摘要：既設森林景観ロボットカメラによる映像記録を分析し、今後大容量の情報通信が可能な時代に
対応した環境情報記録を検討し、ステレオ録音による環境音記録機能を付加し、画質精度向上のため
最新映像記録方式を導入して改良カメラを開発した。同カメラを運用して得た動画像と環境音の記録
には、野鳥昆虫の鳴き声や風雨音、木々の枝葉音等が記録され、従来の映像記録よりさらに詳細な環
境情報が記録できることを明らかにした。鳥類専門家にヒアリングして音記録から同定できる鳥類を
示し、音記録による環境モニタリングへの応用を実証した。インターネットによる情報共有時に動画
映像と環境音記録による同時多点環境モニタリングの意義を展望した。

1. 背景と目的

1995年に森林景観記録ロボットカメラ（以下「ロボットカメ
ラ」と記す）が開発された¹⁾。その後、無電源地無人での定時自
動記録システムが開発され、記録映像のデジタル化により
WWW (World Wide Web) での情報公開による情報共有方法
と記録情報の活用方法が明らかにされ、また同カメラで記録され
る定点定時映像がランドスケープ情報基盤を構築するための景観
モニタリング手法として重要であることが示されたが、映像記録
情報の共有には広帯域なネットワークが必要なため試験運用に留
まった^{2),3)}。近年インターネットを基盤とした情報通信技術 (IT;
Information Technology) が急速に進歩し、その対象である情
報内容は質・量とともに拡大を続けている。このうちデジタル映
像やブロードバンドネットワークなどの技術開発は、既往研究で
明らかにされた定点定時映像記録ロボットカメラの活用方法の実
用化とも関連が深い。それはインターネットを通じてより情報量
の多い環境情報を扱うことができるようになった時、映像による
環境記録は、多くの人と共有することが可能となり、環境に関わ
る経年的な現象を検討し、理解を進めることが出来ると考えられ
るからである。本研究は、既設ロボットカメラ（初期カメラ）で
記録された映像記録を検討し、初期カメラに必要な新機能を開発
し、改良したロボットカメラ（改良カメラ）の記録情報の内容を
明らかにし、ランドスケープ情報基盤の基礎情報として改良カメ
ラによる映像と音による環境記録が、過去の環境を記録するより
よい方法であること示し、インターネットを通じた環境モニタリ
ング手法の知見を得ることを目的とした。

2. 対象と方法

(1) 対象：東京大学秩父演習林には現在記録対象の異なる2台
のロボットカメラと気象観測装置が設置・運用されている。ロボッ
トカメラは監視カメラシステムを応用して開発されており、動画
映像のみが記録されている。天然林樹冠部ロボットカメラ（以下
「樹冠部カメラ」）は、ブナ・イヌブナ天然林を対象に単木のシュ
ートや葉、花、堅果など、目視によるフェノロジー観察に近い映像
を記録し、森林景観ロボットカメラ（以下「景観カメラ」）は、
人工林・二次林・原生林からなる中遠景の森林景観を記録してい
る。前者は主な目的が目視観察の代替記録であるが、後者は環境

の総合指標としての景観記録を目指している。初期カメラによる
映像記録について、過去の景観状況を共有するための記録として
課題があるため、景観カメラを新機能開発の対象とした。

(2) 方法：初期景観カメラや改良カメラによる記録データにつ
いては、現地の再現性について筆者らの解析と、学生、社会人な
どとの意見交換、および専門家に対するヒアリングによる分析に
より研究を進めた。景観カメラの新機能開発は、最新のITから
必要かつ応用可能技術と、ブロードバンドネットワークに対応で
きる情報内容を検討して進めた。以下に研究手順を示す。

①初期景観カメラによる映像記録を解析し、改良点を検討した。
②ステレオ録音機能の新規追加と画像精度の向上により、システ
ムを改良し、改良カメラによる映像・音を記録した。③新たに記
録された映像・音記録から抽出できる環境情報を分析検討した。
同時に専門家として鳥類研究者に映像・音記録を提示し、ヒアリ
ングにより、映像・音に記録された環境情報を分析抽出し、実証
的に映像・音記録による新たな環境記録を示した。⑤改良システ
ムにより記録される映像・音データの活用方法について考察。⑥
考察と今後の課題をまとめた。

3. 映像記録解析と新機能開発

(1) 初期景観カメラの映像解析による新機能の検討

初期景観カメラで記録された映像を再生をして、筆者らで検討
を進めた。森林景観の時系列変化が観察できるように同一ショッ
トについての映像を時系列に並べた編集作品を作成して、一般人
（森林科学と無関係な学生や一般の人）や専門家（森林科学関連
の研究者や学生）に提示して反応を観察し、その後感想や意見を
得た。

<一般人>一般人への映像提示では、数分で映像に興味を示さ
なくなることが観察された。定点定時記録という景観カメラの趣
旨を理解している場合でも、変化の少ない単調な映像に興味を持
ち続けることは困難であることが分かった。目視では眼球や顔の
動きにより視野の制限は無いが、ビデオ映像は視野が制限される
など、一般にフィールドでの観察に比べて提示される映像は情報
量が少ないため、内容について一定の知識や興味が無いと、見続
けることが出来ないが、一般のビデオカメラ（マイク内蔵）で撮
影した映像は、再生時には映像と音が再生されていて暫くは視聴で

*東京大学大学院新領域創成科学研究科 **東京大学大学院農学生命科学研究科

きる。また一般人を景観カメラ設置地点に案内すると、各自が様々な興味を持ってフィールドに接していることが観察できた。興味が続けば知識も増え、フィールドを離れたあとに景観カメラの記録映像を提示すると、フィールドを訪れる前よりも興味を持って見ることが観察された。

＜専門家＞専門家は映像に興味を持って見ながら、各自の森林に関する知識と関連した情報を引き出そうとする。たとえば映像の中の森林について、自分の判断を確かめるために樹種構成などを質問したり、映像記録システムの運用や応用についての質問や意見を出す。特に映像をより詳細観察したいという要求について、ズーム率を変えた複数ショットによって対応しているが、これだけでは専門家の解析対象として不十分と指摘された。初期カメラでは中景域の森林景観を映像記録していて、画像の動きは、木々が風で揺れる程度の動きしかなく、森林景観を構成するテクスチャーなど、詳細な景観構成要素の画像記録には課題がある。

初期景観カメラによる記録映像や現地での比較を中心とした定性的なヒアリングから、景観カメラには音を記録する機能の付加と、画質の向上が必要だと考えた。景観と音について、例えば今田(1942)による『風景は見るばかりでなく聞くべきときもある。・・聴く風景は見る風景に無形の雰囲気をあたへている。・・風は景色に動きを与えるほか、音を伴うのが常で、地上の風の音は樹と甚だ関係が深い』⁽⁴⁾との指摘や、筆者らによる現地と映像記録との比較検討から、現地の音は景観記録の対象の一つとなると考えて開発を進めた。

(2) ステレオ録音機能の開発

(i) 環境音 映像については画質の問題はあるが継続的に記録されているので、先ず新たに音を記録する機能の開発を進めることにした。記録する音については、環境モニタリングという目的の場合、音源を特定して録音するのではなく、景観カメラに届く周辺の音、つまりフィールドに立って聞いている環境音を可能な限りそのまま記録し再生できる録音方式を想定して検討を進めた。(ii) 録音方式 原音に忠実な集音再生方式としてバイノーラル(両耳受聴)がある⁽⁵⁾。そこで録音方法としてバイノーラル録音と、そのほかマイク形式2種類と録音チャンネル数2種類の組み合わせによる4方式を加えた5方式を選定し、現地での試験録音

表-1 録音方式の検討と評価

名称	チャンネル数	マイク形式	野外カメラへのマイク取付適否判断	再生機材の特徴と適否判断
4チャンネル・ダイナミック	4	D	難：カメラハウジングに防水マイク4本は取付スペース、重量とも困難。マイク4本は配線が錯綜しやすい。	難：4チャンネルの再生機器は一般的でない。視聴ポイントが限定され、同時受聴人数は少ない。
4チャンネル・コンデンサー	4	C1	やや難：防水マイクは小さいので取付スペース・重量とも問題ない。マイク4本は配線が錯綜しやすい。	
2チャンネル・ダイナミック	2	D	容易：カメラハウジングに2本の防水マイクなら、スペース・重量とも問題なし。	容易：通常のステレオテレビで再生できる。同時受聴人数は4チャンネルよりも多い。
2チャンネル・コンデンサー	2	C1	最も容易：カメラハウジングに2本のマイクなら、スペース・重量とも問題なし。	
バイノーラル	2	C2	難：ダミーヘッドを取り付けることは難しい。	難：ヘッドホンで受聴するが普及してない。

＜チャンネル数＞4チャンネル録音では2チャンネルステレオ録音に比べ音による没入感が高く、臨場感が高い。

＜マイク形式＞

D：Sony製エレクトレットコンデンサーステレオマイクロホンECM-MS957

周波数特性(50~18,000Hz)、正面感度(-42dB)

C1：Sony製ダイナミックマイクプロトF-115

周波数特性(40~12,000Hz)、正面感度(-74dB)

C2：コンデンサーマイク(試験性能無)

コンデンサーマイクはダイナミックマイクに比べ感度が高く、周波数特性も広いので環境音の記録に最適と予想したが、現場では聞き取れないような小さな音まで拾って、現場での受聴感覚と異なった。

＜バイノーラル＞原音に近い集音再生方式

を行い、録音中のフィールドの環境音の印象と、室内での再生視聴とを比較した。2チャンネルステレオよりも4チャンネル録音の方が、再生時の音環境への没入感があり、臨場感が高い。録音に用いるマイクについてはコンデンサーマイクの方がダイナミックマイクに比べて感度が高く、現場では聞き取りにくい小さな音まで記録するので、その再生音は、現場での受聴感覚とは異なると感じられた。野外での通年運用のため防水型マイクを採用し、かつロボットカメラへの装着容易性や録音記録の再生時条件などを含めて検討した結果、ダイナミックマイクによる2チャンネルステレオ録音を採用することにした(表1)。

(iii) マイクの設置 初期景観カメラは小屋のなかに室内タイプの監視カメラが設置されており、野外の音を収録するには不適であった。そこで監視カメラを野外用カメラハウジングに収納し、カメラボールを設置し、その最上部に移設した。またカメラ稼働時に発電機のエンジン音が録音されてしまうので、マイク設置位置から250mほど離れた、録音に支障の無い地点に発電機を移設した。野外カメラ用ハウジング上部にステレオアームを接着し、2本の防水マイクを取り付け、録音システム側にマイクラインアンプを設置し、ビデオデッキ音声端子と接続した(写真1, 2)。1998年10月から環境音の記録を始めているが、録音機能は水点下になる冬を越えても支障なく稼働している。

(3) 画質精度の検討

(i) 初期ロボットカメラの画質 これまでの撮影記録を解析した結果、画質精度を向上させるには、より詳細なフォーカスや適正露出、ホワイトバランス調節により改善できる「システム調整」と、映像システム全体を最新の機器に変更する「システム更新」によって対応できる。前者は、既にカメラ本体の自動露出、自動ホワイトバランスによって運用しており、逆光補正についても標準構図による調整を行っており、標高1000mを越える無電源地で無人で野外カメラを制御している現状では、当面改善のめどはないと考え、後者について検討を進めた。

(ii) 画像精度のシステム機能変更の検討 機材設備を変更することによる画質向上の可能性については

①撮像素子を1CCDから3CCDに変更、②録画方式をHi8から業務用規格に変更の2点を検討した。①については、3CCDカメラが高価であること、またカメラボールに設置したカメラを変更するにはカメラハウジングやパンチルト台の変更が必要で新設に近い労力が必要であり、現状では現実的でないと考えた。②については、業務用規格βカムがあるが、やはり高価であり、室内スタジオとは温湿度環境の異なる野外で稼働させるには無理がある。しかし近年、デジタル衛星放送局やインターネット放送局の普及とともに、デジタルビデオの普及が進み、森林カメラに应用可能で安価な製品が出てきたため、録画方式の変更を検討した。(iii) 録画システムの変更 業務用デジタル録画方式の1つであるDVCAMを用いた比較的コンパクトで低価格のVTRデッキ(Sony製DSR-20定価40万円)が発売された。デッキ自体の交換労力は容易であったことから2000年10月にVTRデッキの変更を行った。2001年4月にはさらに低価格でコンパクトな製品(Sony製DSR-11:25万円)が販売

写真-1 森林景観ロボットカメラ全景(野外カメラに変更後)

写真-2 ステレオマイクを取り付けた野外カメラ

表－2 改良森林景観ロボットカメラ稼働日

日付	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2000年11																															
12																															
2001年1																															
2																															
3																															
4																															
5																															
6																															
7																															

○：稼働日 ×：非稼働日（主に自動システムトラブルやデッキ結露による）

表－3 森林景観ロボットカメラの音記録項目と映像の関係

対象	音	映像
自然要素	鳥 鳴き声	△ 希に飛翔姿
	ドラミング	△ 鳥生地の撮影設定無
	昆虫 鳴き声	△ 希に飛翔姿
	飛翔音	△ 希に飛翔姿
	動物 鳴き声	×
	足音・踏み分け音	×
	雨 雨音	○ 大粒の雨、霧雨、霧
	マイクに当たる雨音	○ 大粒の雨、霧雨、霧
	風 風音	×
	風に揺れる木々や草	×
人工要素	航空機 ジェット機などの音	×
	車、モノレール等	×
	チェーンソー・刈払機等	×
	話し声	×
	足音	×
	風 風に揺れる枝葉	○ 風音の方が揺れる映像
	葉擦れ音	○ 像より風の様子を感じやすい。
	マイクの風切音	×
	沢水 沢の水音	×
	撮影設定無	×

○：写る △：希に写る ×：写らない

され、2001年6月に再度変更した。空調のない森林内の小屋では、デッキヘッド部が結露のために稼働しないことが起こり、乾燥剤を入れた密閉容器に収納して現在まで支障なく稼働している。

4. 結果

改良景観カメラによる映像・音記録は2000年11月7日から本格的に運用を開始した。途中自動運転システムの故障などで欠測日があるが、2001年7月末までで209日記録した（表2）。

（1）映像・音記録の特徴

ステレオ音による映像・音記録データを再生視聴し、従来のものと比較し、記録された環境情報の内容について分析した。

（i）音に関わる環境情報 音が付加された記録映像が、従来の映像のみの記録と異なる点は、映像を視聴する際に、目的無しに視聴を続けられる点にある。複数の第3者（主に工学部や理学部の大学院生）に両者を比較して提示して印象を聞いたが、同様の回答を得た。音源が映像に映っていて視認できるものは僅かで、映像にはないが録音によって認識できるものは野鳥昆虫や雨風などがあげられる（表3）。人は森林では視覚のみでなく聴覚も使ってその環境を把握していることが分かる。森林環境のモニタリングにおいては録音も重要であることが明らかになった。

（ii）記録音からの情報抽出 音から認識できるものでもっとも多いものが鳥類である。そこで表2の全撮影日から特定2ショットを各7秒づつ取り出して連続編集して48分18秒の試験資料映像（以下「映像音1」と記す）を作成した。映像音1を鳥類研究の専門家石田健氏（東京大学助教授）に提示し、音と映像から抽出できる主に鳥類についてヒアリングによる分析を行った。石田氏は秩父演習林に勤務した経歴を持ち、現地での鳥類調査も行っている。記録音から確認した鳥類について出現日数順に整理したものが表4である。26種延べ252日の出現が確認された。この

表－5 鳥類上位5種の月別出現頻度

月	11	12	1	2	3	4	5	6	7
記録日数	22	31	23	17	24	30	30	12	20
カラ類	41	19	9	29	42	67	57	50	45
ホオジロ	55	58	34	6	21	33	50	67	25
ウグイス	0	3	0	6	4	57	73	58	90
カケス	0	16	13	2	8	3	10	8	20
ヒヨドリ	14	29	0	0	4	10	3	17	0

数字は月ごとの記録日数に対する出現日数頻度(%)

表－4 音記録から確認した鳥類種と日数

種名	日数
カラ類*1	84
ホオジロ	82
ウグイス	67
カケス	21
ヒヨドリ	19
ハシブトガラス	8
センダイクイムシ	8
メジロ	7
マヒワ	7
ソウシチョウ	7
ヒワ	6
ベニマシコ	4
アカゲラ	4
エナガ	2
ホトトギス	2
カワラヒバ	2
ツグミ	1
ウソ	1
コルリ	1
アオゲラ	1
コゲラ	1
キツツキ	1

*1カラ類とはシジュウカラ、ヒガラ、コガラ、ヤマガラ、ゴジュウカラ
*2日数は全記録209日に対する出現確認日数

図－1 鳥類上位5種の月別出現頻度積算グラフ

写真－3 映像記録2001年5月25日ショット8 (Y20010525-8) からの静止画像

内上位5種について、月別の記録日数と出現日数から出現頻度(%)を求めたものが表5であり、これを累積グラフで表現したものが図1である。午前11時30分頃の2ショット合計14秒間の音記録データは、鳥類のセンサス調査という目的で記録されたものでないが、そこから抽出されることは、鳥の鳴き声について「1,2,3月は全般的に少ない」「4,5,6,7月にカラ類やウグイスが多い」ことがわかる。

石田氏へのヒアリングの中で、1ショット7秒は鳥の鳴き声を同定するには短いと指摘された。またモノラルよりもステレオ録音の方が判定しやすいという指摘も得た。そこで改良カメラの1ショットの最大約15秒の映像・音を再生し、音から把握できる環境要素の抽出を行った。2001年5月25日午前11時31分頃のショット8（写真3）の分析例を示す。音から把握された項目は図2のダイヤグラムに示した7項目である。分析はソナグラムを作成し、何度も繰り返して視聴して進めた。ソナグラムの一部を図3に示した。これより約3KHzより低い周波数帯に飛行機音、沢の水音、ウグイスとセミの鳴き声が、約3KHzより高い周波数帯にヒガラやホオジロの鳴き声が分布しているのが分かる。（iii）画質向上に関わる環境情報 水平解像度400本のアナログ録画方式であるHi-8から水平解像度500本を超えるデジタル録画方式であるDVCAMに変更したことによる画質の向上がみられた（写真4）。写真中Aでは明暗の差が大きい部分で生じるにじみが少なくなった。写真中Bでは樹冠のテクスチャ表現が向上した。写真中Cでは輝度の高い部分で失われていた色が記録された。またドロップアウト（テープ上のほりや傷による信号

図-2 Y20010525-8 ショットの音記録解析結果ダイアグラム
* 1 : 図3にこの部分のソナグラムを示す

図-3 Y20010525-8 ショット中のソナグラム
(図2中の*1部分)

写真-4 映像記録方式 DVCAM と Hi8 の画像比較
(左: DVCAM 右: Hib, 図中 ABC は本文で解説)

的部分的な欠落) によるノイズがほとんど見られなくなった。写真4はビデオ画像の1コマを取り出してモノクロ印刷したものであるため紙上では区別しにくい、動画映像の方が両者の差を認識しやすい。以上改良システムでの動画像を観察した結果では、枝打ちによる部分的な微少な景観変化などを認識しやすくなった。

5. 考察と今後の課題

初期景観カメラにステレオ録音機能追加と画質向上を行った。ステレオマイクによる環境音の記録により、音によって記録され分析することのできる環境情報が多く存在することが示された。

映像に加えて環境音を記録することが、今後の環境モニタリングの基盤情報となると考えられる。音を環境モニタリングに応用する可能性に関しては、自然の音を扱う生物音響学分野においても研究されている⁶⁾。録音は時間軸での記録であり、動画映像と併せて記録することで、現地での観察に近い環境記録情報となり、日々蓄積することで、過去に遡って現場で確かめるに近い解析対象となる。つまり後から気づいたことを、過去に戻ってフィールド調査を行うような利用方法も可能である。解析中であるが「映像音1」の解析では「エゾハルゼミ」や「エゾゼミ」の鳴き声が記録されているが、過去の映像・音記録を再度試聴することで、昆虫季節という観点から、再度現場を体験的に調査できることになる。そして昆虫季節と気象との関係に関連づけて解析したり、景観カメラが捉えているブナ、イヌブナ、ミズナラ、ウラジロミなどの樹木フェノロジーとの関連も、過去に遡って解析できる。異分野の研究者が個別に調査していた対象を時間と場所に関連づけて解析したり、説明したり、理解したりする際に有用な情報となる。さらに映像・音記録に鳴いている鳥の種などの文字情報が付与されることで、環境に関する学習の素材としても活用が期待できるだろう。今回映像については視聴した印象での画質向上に触れただけだが、はじめて一般の人の視聴に耐える画質が得られたと感じている。枝打ち除伐などによる微少な景観変化も記録されているが、その検証や成果は現在解析中である。

ITによるブロードバンドネットワーク整備が進む中、動画映像・音をネットワークで配信することが実用段階にある。そのなかで環境省は2001年7月より「インターネット自然研究所」を立ち上げ「国立公園・野生生物ライブ映像」の配信を始めた。全国に設置した固定カメラからの静止画像を撮影、蓄積し、将来的に過去5年を遡って見ることの可能なデータベース構築を兼ねている。これは画期的なことである。さらにIT普及後のランドスケープ情報基盤を展望するならば、固定カメラに加えてパン・チルト・ズームによる複数ショットカメラ、静止画に動画を加える、環境音も記録して蓄積しデータベース構築を行う、そしてこれらが気象観測アメダスのように多地点で行われ、一般の人を含む全ての人と情報共有し、他の環境情報とリンクして提供されることが、次世代の環境情報モニタリングであると考えている。本研究は、その可能性と意味について示したものである。

謝辞：本稿をまとめるにあたり、東京大学秩父演習林、東京大学農学生命科学研究科石田健助教授、東京大学インテリジェントモデリングラボラトリー茅原拓朗研究員のご指導、ご協力を賜りました。記して感謝の意を表します。

参考文献および補注

- 1) 藤原章雄・斎藤馨・熊谷洋一 (1996) : 森林モニタリングビデオシステムの開発 : 日林論 107, 103-104
- 2) 藤原章雄・斎藤馨 (1998) : 映像情報のデジタル化によるランドスケープ情報の共有に関する研究 : ランドスケープ研究 61(5), 601-604
- 3) 斎藤馨・藤原章雄・熊谷洋一 (1998) : ランドスケープ情報基盤構築のための景観モニタリング手法 : ランドスケープ研究 61(5), 597-600
- 4) 今田敬一 (1942) : 風景と音 : 風景9(2), 56-58
- 5) 後藤敏幸 (1989) : 音場の再生 : 音の科学, 朝倉書店, 16-35
- 6) 大庭照代 (1999) : 環境モニタリングへの生物音響学的アプローチ : 千葉中央博物館自然誌研究報告 5(2), 115-126
- 7) インターネット自然研究所 : <http://www.sizenken.biodic.go.jp/>

Summary : The video recorded by the former forest landscape robot camera was analyzed and the new environmental information recording technique that fits the future broad-band network communications age was assessed. An environment sound record function by stereophonic recording was added afresh, the latest video format DVCAM was introduced for improvement in the picture quality precision and an improvement over the existing robot camera was made. Sound from the natural environment like chirping of birds and insects, wavering of branch and leaves, sound of wind and raindrops were recorded by the improved system. It was found that the DVCAM could record more detailed information of the natural environment. Bird researcher listed several species of wild bird from the sound recorded by the system. It appears that such sound recording can be utilized for the environmental monitoring. The further improvement in the current environmental monitoring by video image and sound recording and sharing of the data on the internet will make the natural environmental monitoring technology more reliable and at the same time will help people to feel and understand the natural environment better. Further research is needed to establish the reliable natural environment monitoring system by using the newest robot cameras.