

東京大学大学院新領域創成科学研究科
環境学研究系 自然環境学専攻
自然環境景観学分野

平成 28 年度 修士論文

サイバーフォレスト感性情報の拡張による自然感覚の共有
A sharing method of sensory information by improving
human computer interfaces of Cyberforest database
to expand humans perception of nature

2017 年 2 月 28 日 提出

2017 年 3 月 修了

指導教員 齋 藤 馨 教授

47-146620 下 徳 大 祐

目次

1	背景と目的	3
1.1	フィールド無人調査の課題	3
1.2	Cyberforest の概要	3
1.3	研究の目的	5
1.4	論文の構成	6
2	データについて	7
2.1	観測地点について	7
2.2	記録の状況	11
3	結果 (1) ヤマドリドラミングと嵐の音の振動について	15
3.1	はじめに	15
3.2	データと要素技術	15
3.3	実験 1: 1 振動子 = 1 ライブ音源実験	20
3.4	実験 2: 1 振動子 = 1 録音音源実験	23
3.5	実験 3: 複数振動子 = 複数録音音源実験	27
3.6	まとめ	30
4	結果 (2) 景観写真の自動処理と time-lapse 動画の利用	31
4.1	はじめに	31
4.2	仕様の検討	32
4.3	提示デバイスの試作	32
4.4	機械評価の結果	35
4.5	time-lapse 動画の同期再生	42
4.6	まとめ	42
5	考察	45

謝辭	45
----	----

參考文獻	46
------	----

1 背景と目的

1.1 フィールド無人調査の課題

映像や音声による森林情報の記録は、現地での直接目視では困難な観察において目視観察に変わる手法として利用されたり(矢田ほか, 2011), 現地でしか得る事の出来ない音や映像などの感性情報を記録できる事のでハンディーカメラやレコーダーなどによって補助的に記録が行われてきた。

ロボットマイクやカメラを設置し無人で運用することは、観察対象とする生物に人の気配を察知されずに観察できる点・生物を同時多人数で観察しても生物にストレスを与えない点・多人数が自然にアクセスする事による自然破壊を防げる点・アクセスが限られる地点の自然をも観察できる点・時間を問わずに観察できる点などのメリットがある。

しかし蓄積した映像記録や音声記録を他の情報と関連を持たせながら検索し提示する作業は、それら単体では困難であり、感性情報の記録は多くの情報を残せるという利点が大きいにもかかわらず、いままで利用が進まなかった。ところが近年 ICT (Information Communication Technology) の発展と共に、状況が変化しつつある。

インターネット自然研究所(生物多様性センター, 2001; 則久, 2001)では景観カメラを全国に設置し毎正時にユーザに提供している(図1)。これらの景観カメラはインターネットに接続され、ユーザはネットワークを介して簡便にこれらの画像を閲覧できる。また、これらの画像はアーカイブされておりユーザは長期にわたる景観・生物季節の変化を確認できる。これらより、生物季節や景観の長期追跡やスナップショット的な景観の短期把握にこれらのシステムは有効であると考えられる。

1.2 Cyberforest の概要

Cyberforest もこれら景観情報・環境情報収集システムの一つである、1995年に藤原ほかによって埼玉県秩父市・東京大学秩父演習林内にロボットカメラが設置された(藤原ほか, 1996)。インターネット自然研究所の景観カメラは電源のある場所で運用され、かつ静止画記録であるものの、本研究は商用電源がない場所での動画記録という点で既往研究とは異なっている。



図1 インターネット自然研究所のホームページ

秩父に設置された cyberforest によるロボットカメラでは映像と音声と同時に記録されており、2週間に一度人手を用いて DV テープに撮影された記録テープを回収し内容を確認していた(藤原, 2003)が、長期運用を続ける中で ICT が発達し 2010 年には無人でのデータ回収に耐えられるようになってきた。すなわちカメラやマイクをネットワークに接続し、それらによって収集されたライブ音や景観スナップショット(20秒に1枚)、言い換えるならば森林感性情報を、ネットワーク越しに記録、ユーザに提供できるようになった。

2016年現在、秩父演習林・鉄塔で運用されている無人記録システムの概略を図2に示す。電源は太陽電池によって供給されチャージャーコントローラを介して12Vバッテリーに蓄電される。バッテリーの電圧はワンボードコンピュータ RMS-200によって常時モニターされている。RMS-200は指定した時刻になるとバッテリーの電力をアンプ・オーディオエンコーダ・ブロードバンドルーター・衛星ネットワーク用のモデム・ウェブカメラに供給し、映像と音声は衛星ネットワーク経由で東京大学・情報基盤センタ内のサーバに転送される。

情報基盤センタではソフトウェア iceCast を用いて転送されたストリーミングがほぼ実時間でユーザに提供されている。また同時にアーカイブされ、それらもネットワークを通じて提供されている。

信号はフィールドで mp3 にエンコードされたのち、東京大学農学部内にある配信サーバに伝送される。配信サーバよりユーザに伝送される。著者らの経験や、聞き取り調査のログを解析するとユーザに信号が伝送されるまで実時間とは数秒のずれがあり、またユーザー相互間でも数秒程度のずれがある事が判っている。

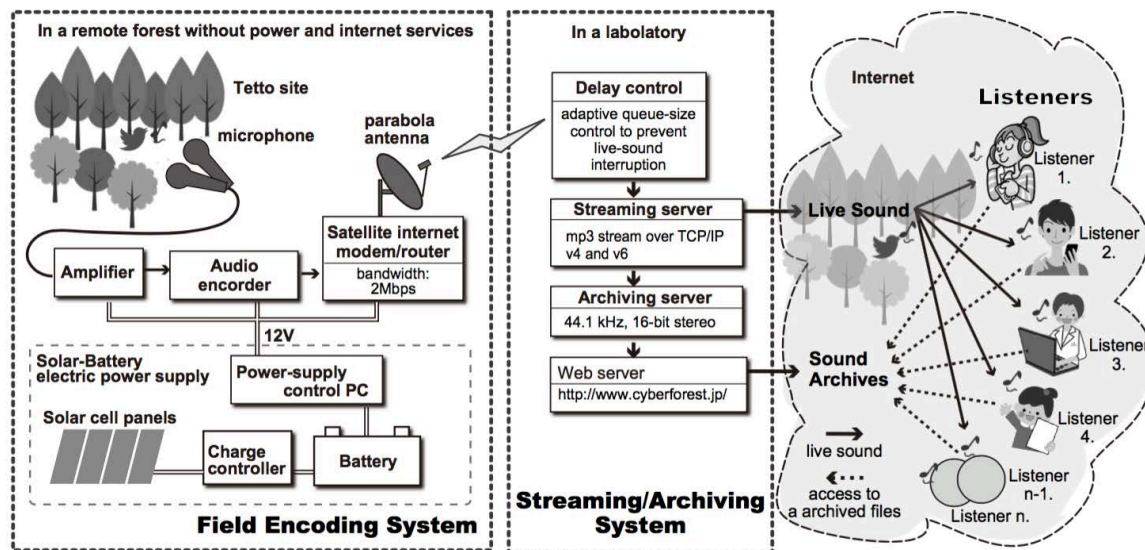


図2 2016年現在の#tettoサイトの概略図 (Saito et al. (2015) を改変)

1.3 研究の目的

本研究で取り扱う感性情報は音声情報と画像情報であり、これらの観察の方法は、それぞれに1地点ずつ観察する方法と、同時に多地点間を比較しながら観察する方法がある。しかしながらサイバーフォレストによって提供されるデータは、現在のところユーザにとって認識しにくく使いづらい。そのため教育利用上、また研究利用上で活用が図られていない。

それは以下の問題に起因するものである。

- (1) 1つ目は、空間的に広く、また時間的に長い膨大な画像の蓄積は、変化のない部分が多くユーザの興味を惹かないこと。
- (2) 2つ目は、現地で観察するよりも情報を取得できる帯域や、情報を取得できる方向の制限によって、生物の気配に関する情報やボディーソニック領域の情報が失われるという音声情報

量の不足に起因する問題.

(3) 3つ目は、1日に1サイトあたり4320枚撮影される写真の記録量は多すぎて手動では処理ができないこと.

(4) 4つ目は、多地点での記録についての取り扱いについて直感的な理解ができないことである.

これらの問題は、インターネット自然研究所によって提供される景観画像や、Cyberforst Projectによって提供される自然音、Locus Sonus (Joy and Sinclair, 2015)によって提供される自然音 (Locus Stream) などが、未加工のままブラウザ越しにユーザに提供されるために起こっている問題であるといえる。本研究ではユーザインタフェースを改良する事によってこれらの問題を解決する事を試みた.

(2), (4)の問題を解決を目指して振動覚を用いたデバイス「Mori-Touch」を作成した。また(1), (3), (4)の問題の解決を目指して「Cyberforest Map」というiPadソフトウェアを開発した.

本研究では「Mori-Touch」と「Cyberforest Map」を実際に開発し、これらのユーザインタフェースがCyberforestが提供する音声情報と画像情報をより直感的に把握・共有する手法としての有効性を検討する事を目的とする.

1.4 論文の構成

第2章では本研究で取り扱ったデータについて説明する。第3章では音声情報の取り扱いと、Mori-Touchの実装について議論した。第4章では映像情報の取り扱いとCyberforest Mapの実装について議論した。第5章でそれらを総合的に考察する.

2 データについて

2.1 観測地点について

Cyberforest Project では前述の埼玉県秩父市・東京大学秩父演習林内「鉄塔」観測地点（#tetoo サイト）サイトを含めて9地点で長期運用を行った実績がある（2016年未まで、表1、図3）。本項ではそれら観測地点の特徴について述べる。



図3 Cyberforest 観測地点位置図

表 1: Cyberforest Observation Sites

Site Name	#Teito	#Yataake	#Orohama	#Otanomo	#Yamanakako	#Funadaike	#Tabushima	#Maeyama	#SoundX
Operating Area	Chichibu Forest, UT ^{*1}	Chichibu Forest, UT	International Coastal Research Center, UT	Institute of Nature Education, Shinshu Univ	Fuji Forest, UT	National Historical Museum & Institute, Chiba	Tabushima Oshima Is.	Hokkaido Forest, UT	Private Land
Site Location	Chichibu-City, Saitama	Chichibu-City, Saitama	Otsuchi-Town, Iwate	Yamanouchi-Town, Nagano	Yamanakako-Town, Yamanaashi	Chiba-City, Chiba	Yamada-Town, Iwate	Furano-City, Hokkaido	Namie-Town, Fukushima
Latitude	35°56' 17.55" N	35°56' 40.95" N	39°21' 04.99" N	36°42' 38.55" N	35°24' 31.38" N	35°35' 57.17" N	39°24' 03.98" N	43°17' 49.74" N	37°28' 03" N
Longitude	138°48' 11.37" E	138°48' 59.21" E	141°56' 04.75" E	138°29' 44.71" E	138°51' 37.79" E	140°08' 14.60" E	141°59' 53.54" E	142°36' 02.66" E	140°55' 27" E
Altitude	1200 m + pole height	1000 m	4 m	1600 m	1000 m	20 m	35 m	550 m	75 m
Year of Installation	1995	1995	2011	2011	2012	2013	2014	2014	2016
Year of First Live-stream	2010	2012	2011	2011	2012	2013	2014	2014	2016
Surrounding Environment	Natural forest consisting of beech tree & Japanese blue beech	Artificial, secondary & natural forest	Costal area	Secondary & natural forest located in the highland educatory facility	Artificial forest; located in the foothills of Mt Fuji	Nearby a pond located in the ecological park in Satoyama area	Unmanned island where streaked sharewaters nest	Protected natural forest	

*1 UT: Univ of Tokyo, 以下同じ

2.1.1 「鉄塔」観測地点 (#tetto サイト)

1995年に埼玉県秩父市の東京大学秩父演習林内に観測地点は設置された。樹冠の観測を目的とした森林観測鉄塔の頂部にV字型に配置されたマイク対とウェブカメラが設置されている。鉄塔の西方には沢が存在している。周辺はブナ・ヒノキが優占する天然林であり、大面積長期生態系モニタリングがなされている。

2つマイクが設置されており #tetto, #tetto2 と識別される。#tetto マイクは鉄塔 23 m 上, #tetto2 マイクは地上 1.5 m に設置されている。

2.1.2 「矢竹」観測地点 (#yatake サイト)

1995年に埼玉県秩父市の東京大学秩父演習林内に観測地点は設置された。森林観測鉄塔の中間部にV字型に配置されたマイク対とウェブカメラが設置されている。また基部の観測機材を収納してある小屋より Nikon D5500 カメラで対面する山の斜面を撮影している。周辺はブナ・ヒノキよりなる人工林である。矢竹沢より命名された。

2.1.3 「赤浜」観測地点 (#otsuchi サイト)

2011年に岩手県大槌町にある東京大学海洋研究所・国際沿岸海洋研究センタの屋上に観測地点は設置された。2011年の東北地方太平洋沖地震とそれに起因する津波によって、大槌町は町民の7.7%が死亡・行方不明となった(大槌町, 2015)。2016年現在も復興の途上にあり、そのため重機音がよく聴取される。

カメラは4台設置されており、2台は海および防波堤を、1台は対岸および空を、1台は山肌の樹木に向けられている。それぞれ#Otsuchi-1 #Otsuchi-2 #Otsuchj-3 #Otsuchi-4 カメラと識別される。

マイクは汀線まで水平距離で100mの位置にある。商用電源とネットワークが提供されているので24時間配信されている。

2.1.4 「おたの申す平」観測地点 (#otanomo サイト)

2011年に長野県志賀高原町にある信州大学志賀教育自然園に設置された観測地点である。付近は高原地帯であり、冬期はスキーリゾートとして有名である。カメラは2台設置されており、1

台は教育自然園の施設屋上に対面する山を撮影し、もう 1 台は林内を撮影している。マイクは林内に設置されている。それぞれ#Otanomo-1 #Otanomo-2 カメラと識別される。

2.1.5 「山中湖」観測地点 (#yamanakako サイト)

東京大学富士いやしの森演習林に設置されている観測地点である。マイク・カメラは林内に設置されている。カメラは開放的な林内を写している。マイクにはしばしば自衛隊の砲撃音が録音される。

2.1.6 「船田池」観測地点 (#funadaike サイト)

千葉県自然史博物館のビオトープ内の池付近に設置されている観測地点である。通信回線は WiMax に依存している。カメラは湖面をうつしている。カエルの鳴き声などが多く聞こえる一方、飛行機の音も強く録音される。

2.1.7 「タブの大島」観測地点 (#tabushima サイト)

オオミズナギドリの繁殖する岩手県「タブの大島」に設置されていた観測地点であるが、2016 年 2 月 高波によって破壊された。

2.1.8 「前山保存林」観測地点 (#maeyama サイト)

東京大学北海道演習林内「前山」に設置されている観測地点である。カメラは 2 台あり 1 台は太陽電池や気象観測設備が備えられている露場を撮影している。もう 1 台は林内を撮影している。それぞれ #Maeyama-1 #Maeyama-2 カメラと識別される。マイクは林内にある。これらの観測点の内で最も人工起源の音（アンソロフォニー (Krause, 2012)）が少ない。

2.1.9 SoundX 観測地点 (#SoundX サイト)

2011 年東北太平洋沖地震にともなう福島原子力発電所事故の帰還困難地域に設置された観測地点である。現在公開準備中である。

これらの運用時間は図 4 のように設定されている。全てのサイトが同時に運用している時間を赤枠でしめした。

これら全てのサイトに無人カメラがあり景観写真を 20 秒に 1 枚撮影している。それら写真は、

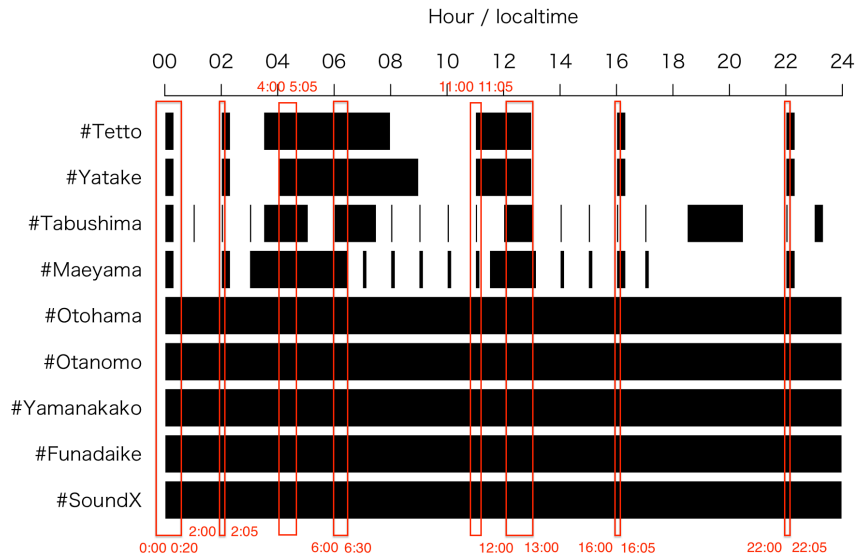


図4 Cyberforest 観測サイトの運用時間；同時視聴できる時間を赤枠で示した

Cyberforest Links ^{*2} や CyberForest for Enviromental Education (CF4EE) ^{*3} で公開されている。写真の解像度は jpg の画面解像度で 1280 pixel × 960 pixel (QVGA) または 640 pixel × 480 pixel (VGA) である。ファイルサイズは前者で 120 kiB 前後，後者で 35 kiB 前後である。このことを利用して破損している jpg ファイルを検出した。

2.2 記録の状況

以上の各地点で記録された音声データ量の年変動について検討する。商用電源とネットワークが提供されているサイトでは，おおむねデータの回収率は一定であるが，衛星ネットワークと太陽電池によって維持されているサイトではデータの回収率に大きな差がある。

本研究では 44.1 kHz のサンプリングレート，量子化ビット数 16 bit，2 チャンネル（ステレオ）のデジタル音を constant bit rate mode で 192 kbps の mpeg 3 audio stream にエンコードしているので，音声データ本体の容量は理想的には 86.4 MiB / hr となる。このことを用いてサーバに蓄積されたデータ容量から配信時間の日較差を求めたところ図 5 となった。

^{*2} <http://www.cyberforest.jp/>

^{*3} <http://www.cf4ee.nenv.k.u-tokyo.ac.jp/>

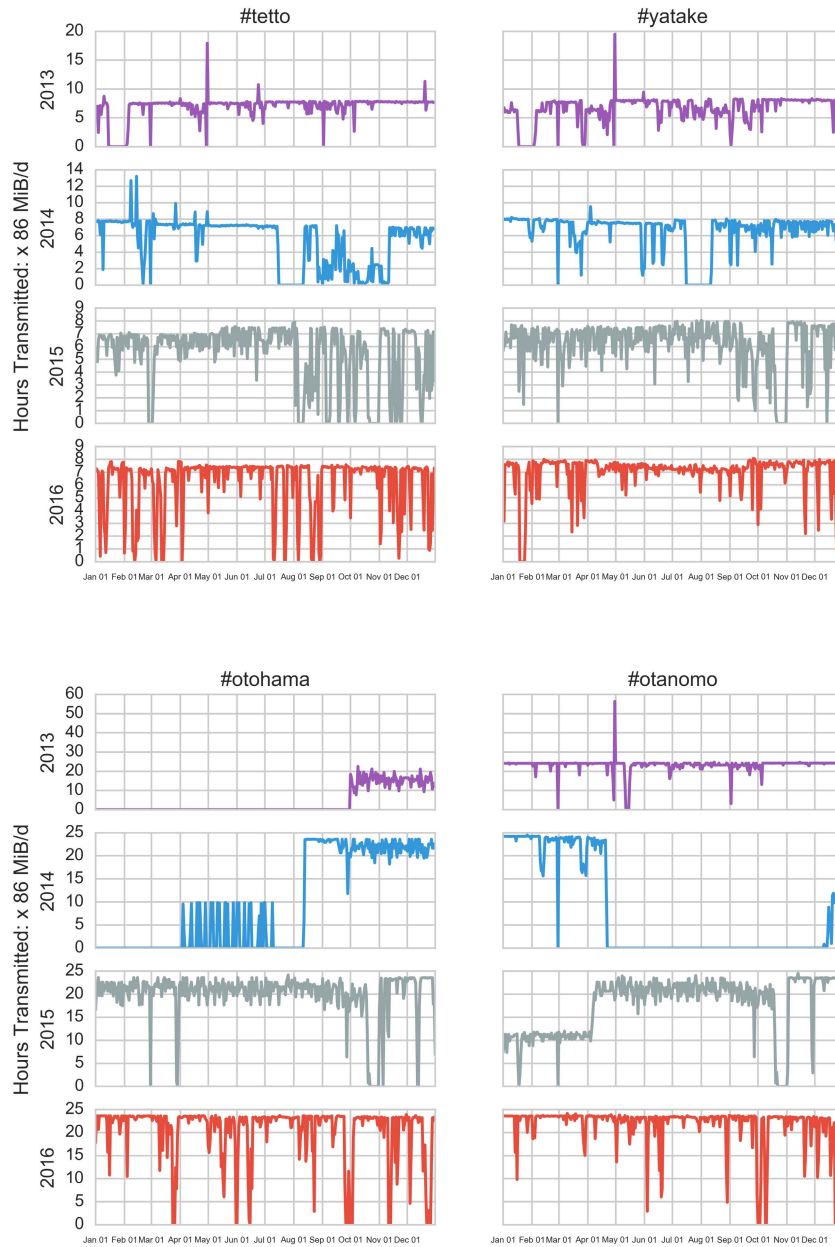


図5 データ収集量の日較差

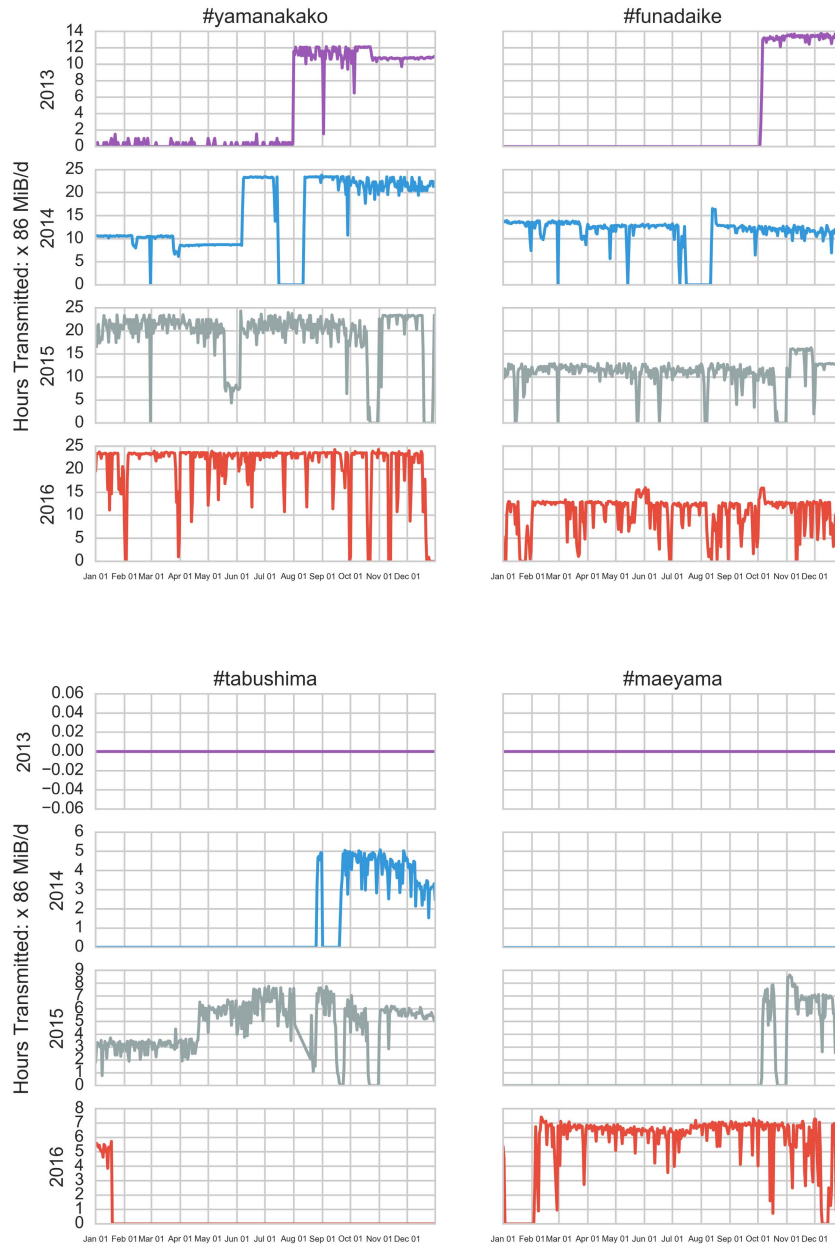


図 5 (Cont.) データ収集量の日較差

メンテナンス作業によって当初の設定以上の転送が記録されている。2015年に入ると設定変更とその試験による転送量の不意の増加は見られなくなっている。しかしシステムのダウンは起こっており、1) 丸一日起動しないこと や 2) 所定の時間の転送が行われていないことがわかる。

商用電源と有線ネットワークを有する #Otohamama サイト や #Otanomo サイト, #Yamanakako サイトでは ほぼ設定通りの 24 時間の転送が行われているが, Wimax 無線 WAN に依存する #Funadaike サイトでは 12 時間の転送しか確保されていない。太陽電池と衛星ネットワークに依存する #Tetto サイト, #Yatake サイト, #Tabushima サイト, #Maeyama サイトについては, 春の鳥類の孵化時期に合わせて行っている聞き取り調査時期 (4月1日～6月30日, 植田ほか (2012a); 黒沢ほか (2013) など) を除けば, 回収率が良くない。

これはネットワーク的な要因よりもむしろ電源の問題で, 積雪と低温で発電効率が下がり, バッテリの搬入による電力供給もできない #maeyama では 1 月中旬から 1 ヶ月程度停止している。そのほか電力的な問題やネットワーク的な問題で, 予期せずに運用が停止したり運用開始時間がずれていく観測地点もある。

Mori-Touch の実験 3 はそのため音声ファイルを多地点から同期したファイルが必要だったので, 0:00 のファイルの開始時刻で観測地点の制御コンピュータの時計のずれを規正した。

3 結果 (1) ヤマドリのドラミングと嵐の音の振動について

3.1 はじめに

音声情報は視覚情報と並んで環境感性情報で我々が収集できる情報のうちのひとつである。見通しのきかない森林の中で、鳥類に対する最初の接触は視覚によるものよりも音声によるものが多い(植田ほか, 2012a) ことや生物の「気配」を感じる事ができるなど、我々はフィールドにおいて多くの情報を音声情報から得ている。

しかしながら遠隔からの音声情報の利用には制限がある。遠隔からの音声利用では、もっぱらヘッドフォンやスピーカなどが利用されており、フィールドにおいてはボディーソニックとして感じられる可聴範囲外音域が遠隔からでは聴取しにくい。そのためヤマドリ *Synaticus soemmerringii* のドラミング、キジバト *Streptopelia orientalis* やツツドリ *Cuculus optatus* の声のような低音は、遠隔聞き取り調査の解析から除外されてきた(植田ほか, 2012b)。著者はこうした点を問題とした。これらの問題を解決するために、著者は触覚（ここでは特に振動覚）を利用する。振動覚は 1 kHz 以下に感度があるため (Hendry et al., 2008)、可聴域外低周波を触る事によってそれらの音を認識できる可能性がある。

3.2 データと要素技術

Cyberforest Project Team は毎春非営利団体 Birdresearch と共同で鳥の繁殖時期である毎春に鳥の聞き取り調査を行っている (Saito et al., 2015; 黒沢ほか, 2013)。この調査では毎年 4 月 1 日から 6 月 30 日まで Cyberforest の観測サイト 3 箇所を 3 日おきに、調査員がオンラインで聴取して鳥の種とアクティビティ（地鳴き・囀り・ドラミング）を同定する。聴取時間は日の出前 10 分から日の出後 60 分の計 70 分間である。さらに #maeyama サイトも 3 日おきに 15 分間聴取している。4 月冒頭の聴取時間は表 2 の通りである。

表 2: 4 月冒頭の遠隔聞き取り調査実施時間

日付	曜日	サイト名	時間		
			開始	終了	日出
2016/4/1	金	#tetto	5:16	6:26	5:26
2016/4/2	土	#maeyama	4:57	5:12	
2016/4/2	土	#yamanakako	5:15	6:25	5:25
2016/4/3	日	#otanomo	5:13	6:23	5:23
2016/4/4	月	#tetto	5:12	6:22	5:22
2016/4/5	火	#maeyama	4:51	5:06	
2016/4/5	火	#yamanakako	5:11	6:21	5:21
2016/4/6	水	#otanomo	5:08	6:18	5:18
2016/4/7	木	#tetto	5:08	6:18	5:18
2016/4/8	金	#maeyama	4:46	5:01	
2016/4/8	金	#yamanakako	5:07	6:17	5:17
2016/4/9	土	#otanomo	5:04	6:14	5:14
2016/4/10	日	#tetto	5:03	6:13	5:13

図 6 は横軸に観察日を、縦軸に 70 分のうちでアクティビティーが聞かれたのべ時間を、アクティビティー（地鳴き、囀り、ドラミング）ごとに示している。ただし図が煩雑になるのでドラミングは全ての種（ヤマドリ、キツツキ、コゲラ）について記載したが、囀りと地鳴きは合わせて聞かれた時間が多い種 5 種（多い順よりヒガラ、キビタキ、ウグイス、ルリビタキ、コルリ）のみ掲出し、残りは合わせて「他」とした。ドラミングが聴取された種について、それぞれ聴取できた日数と聴取できた時間を表 3 に示し、またスペクトグラムの例を図 7 に示す。図 7(a) は 2016 年 5 月 25 日 4:38 – 4:40 の #tetto サイトの録音で音源番号 3.2-1a とする。

音源 3.2-1a に報告されているキツツキのドラミングの周波数は 500 Hz – 3 kHz の範囲にあった。

図 7(b) は 2013 年 5 月 01 日 5:52 – 5:56 の #tetto2 サイトの録音で音源番号 3.2-1b とする。音源 3.2-1b にはアカハラ *Turdus chrysolous* とトラツグミ *Zoothera dauma* の囀り、ヤマドリのドラ

3 結果 (1) ヤマドリのドラミングと嵐の音の振動について

表3 ドラミングの聴取時間

種名	聴取のべ日数 (日)	のべ聴取時間 (分)
ヤマドリ	9	50
コゲラ	3	5
キツツキ	49	496

ミングが記録されている (図 7(a)). コゲラのドラミングは著者には識別できなかった.

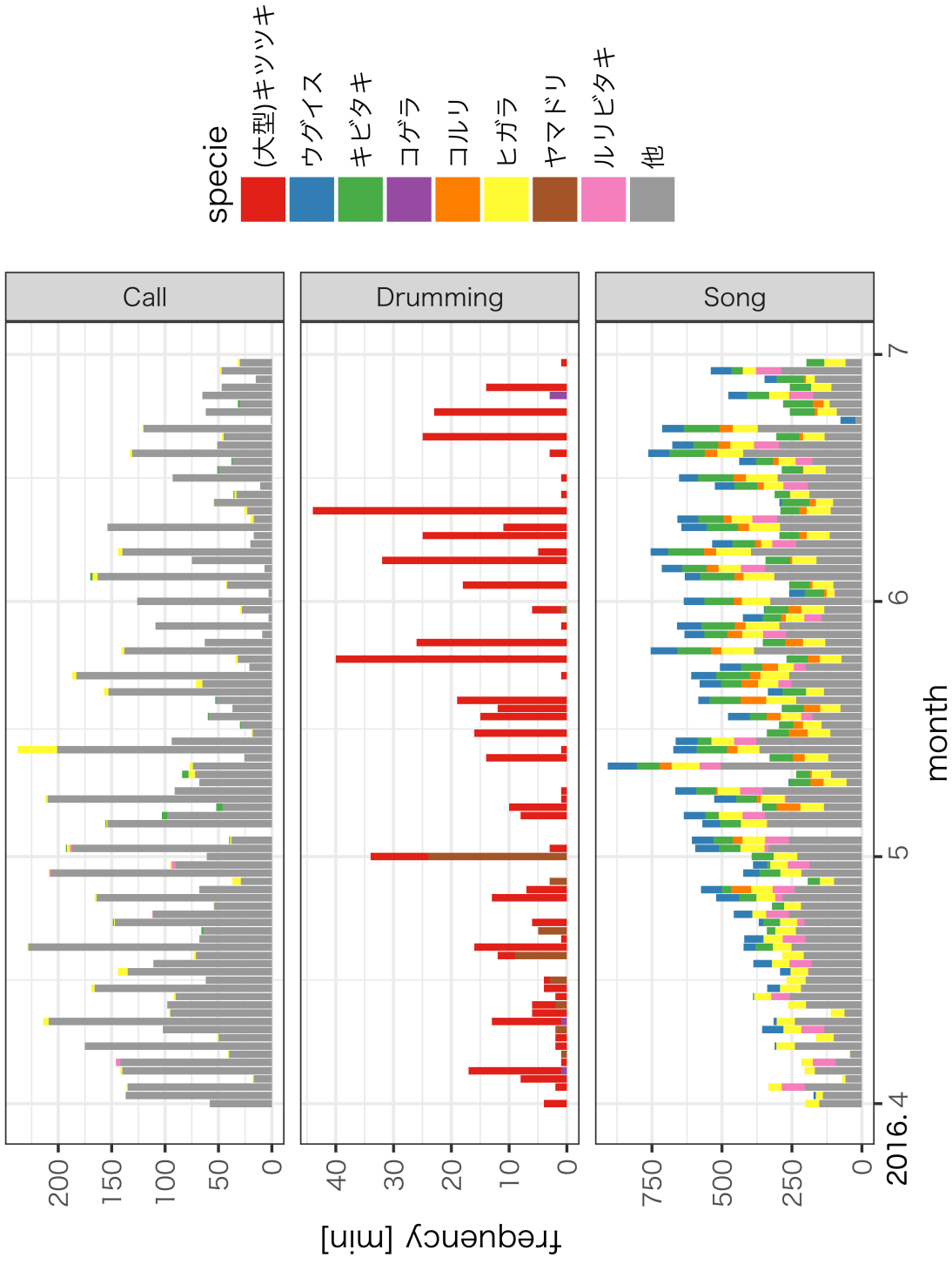
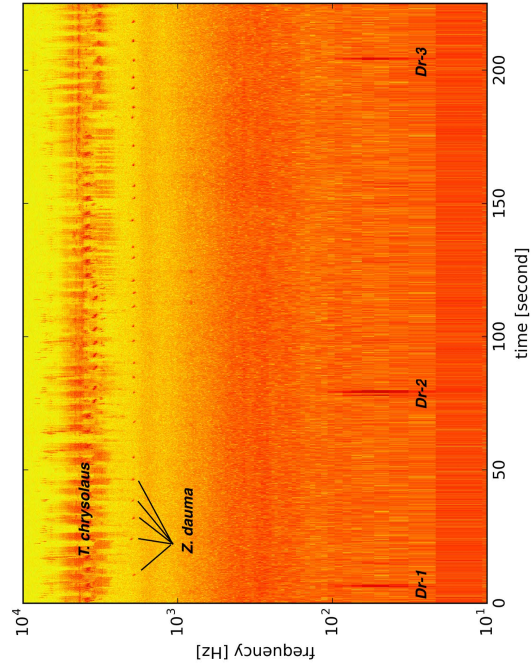
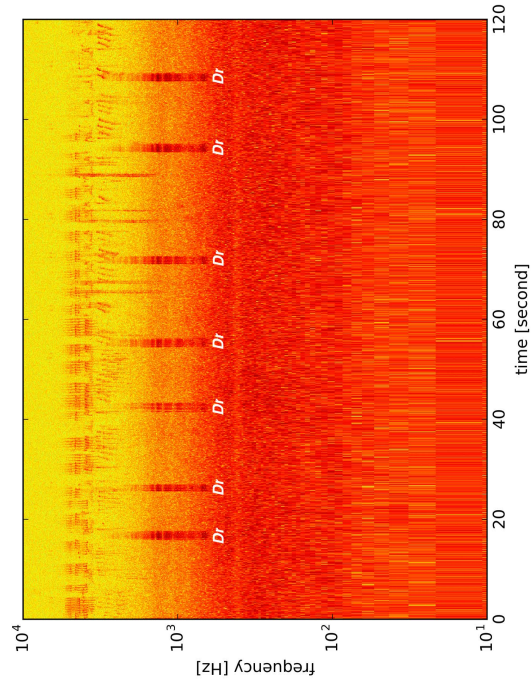


図6 2016年の聞き取りの結果



(b) ヤマドリのドラミング：
20130501053157tetto2.mp3 の冒頭 20:45 - 24:30 を採録



(a) キツツキのドラミング：
20160525052856tetto.mp3 の冒頭 8:30 - 9:30 を採録

図7 ドラミングの周波数の比較：ドラミングはそれぞれ「Dr」で示す

3.2.1 Techtile Toolkit

Techtile Toolkit (以下 Techtile) はアナログの 2.5 mm ϕ モノラル音声インプット 2 系統と USB 音声インプットを有する。ただしアナログインプットと USB インプットは排他利用である。コンピュータの音声アウトプットは変換の必要なく Techtile のアナログインプットに入力でき、振動アクチュエータをスピーカと、Techtile をアンプと見なせば、コンピュータに接続する通常の音響機器と同様に構成できる (図 8(b))。

Techtile には 2 種類の振動子が付属している。一方は ALPS 電子製のアクチュエータ Force Reactor AF であり、他方はアクーヴラボ製の VP-2 バイブロトランスデューサである。Force Reactor AF は内部で錘を振動させて振動覚を再現する。共振モードは 320 Hz と 160 Hz およびその合成波数に限られ、錘を振動させる事によって生成する物理的な衝撃をユーザに与えるため、「固い」触感を再現する事に優れる。

一方 VP-2 はコーンを振動させ、そのフレームを押し当てる事で振動覚を再現する。周波数特性は触覚再現は 16 Hz 以上であり、音声として 20 Hz – 15 kHz までの感度を持つ。低周波を含む音声信号を入力した場合、可聴域については音声として出力される。VP-2 はスピーカと言えるので、空気の振動を伴うような「柔らかい」触感を再現する事に優れる。

Techtile は Minamizawa et al. (2012) が作成したツールキットであり、このように簡易に振動覚を表現することができる。紙コップにビー玉をいれ、それを回転させ、あるいはコップの中に落として、その触感が Techtile を通して他方の振動子に伝わるというデモンストレーション (以下 Techtile = 紙コップデモ という) が、Minamizawa et al. (2012); 仲谷ほか (2014) によって行われている。

3.3 実験 1: 1 振動子 = 1 ライブ音源実験

Techtile Toolkit にはコンピュータや ipad から直接音源を入力する機能がある (図 8(b))。そこで Techtile を直接コンピュータに接続して低周波信号を聴取できるかどうか評価した。

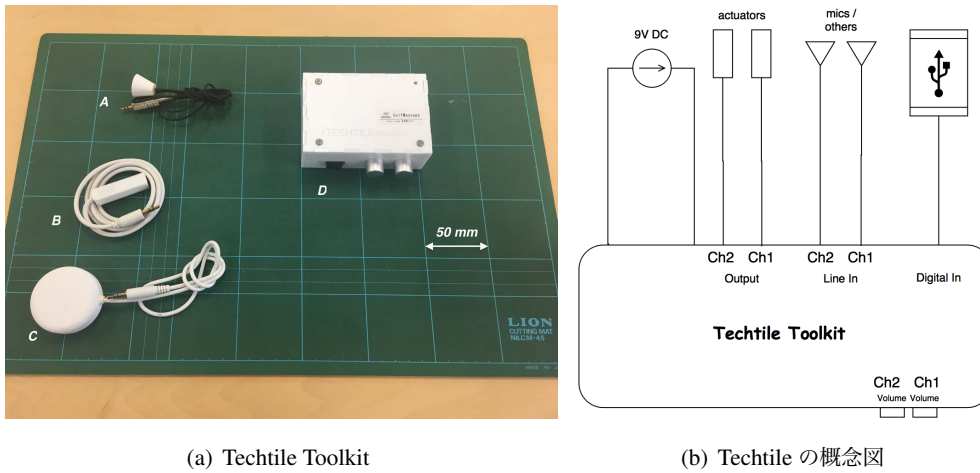


図8 Techtile Toolkit

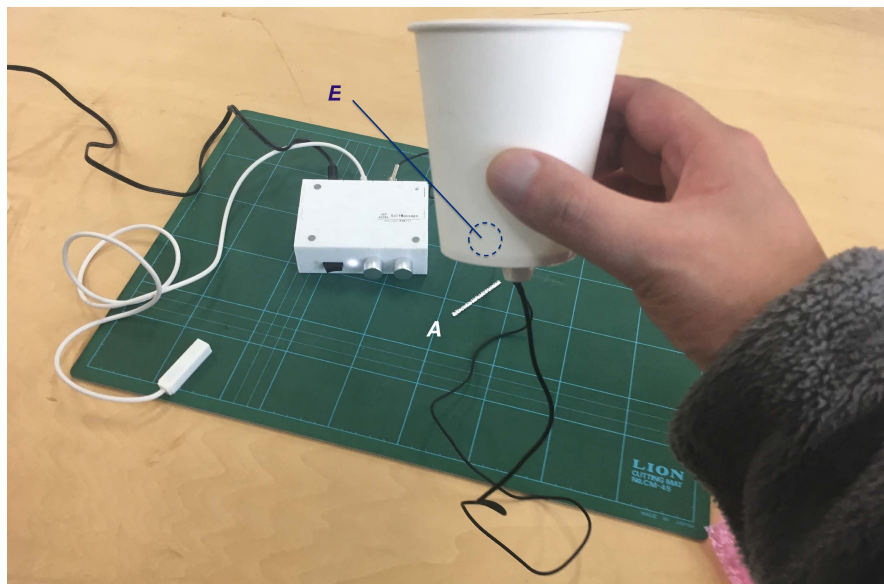


図9 Techtile =紙コップデモ

3.3.1 実験系の説明

本実験では、iMac、ミキサ BIRD DJ-11、ヘッドフォン AKG K612 pro、Techtileを用いた。ステレオ音声信号を iMac の Line Out より出力し DJ-11 に入力した。DJ-11 はミキサとして設計されている回路であるが、その回路を逆転させて 50 : 50 の割合で、ヘッドフォンと Techtile に分流させた。振動子 VP-2 を Techtile を介して駆動し、ユーザにはヘッドフォンを聞きながら同時に振動

表 4 Mycaption

日付	曜日	サイト名	時間		
			開始	終了	日出
2016/4/24	日	おたの申す平	4:44	5:54	4:54
2016/4/26	火	富良野	4:16	4:31	
2016/4/26	火	富士山中湖	4:44	5:54	4:57
2016/4/28	木	秩父	4:40	5:50	4:50

子を握らせた。K612 pro は 12 Hz – 39.5 kHz まで感度を有し (HARMAN International Industries, 2013), 低周波信号の聴取には適している。本実験系でユーザは音声信号を聴取すると同時に信号が触知できる (図 10)。Techtile のボリュームは信号は定量的に調整せず、ユーザにとって心地よくなる程度に任意に調整した。

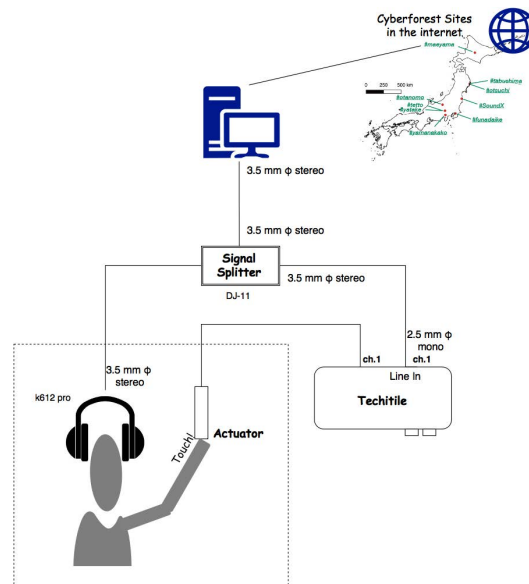


図 10 1つの振動子を用いた実験

著者はこの実験系を使用して、2016年春期の鳥の聞き取り調査に4月24, 26, 28日の3日間参加した (表 4)。

3.3.2 結果と考察

この実験では振動のみの効果を測定するために振動子として Force Reactor AF を用いた。

4月24日の #otanomo サイトは晴れ^{*4}であった。晴れのため、さらに日の出前後のため、鳥の囀りは多く聴取できたものの、特記すべき低周波音は聴取、触知できず、またヤマドリのドラミングも報告されていない。

4月26日の #maeyama サイト、#yamanakako サイトは晴れであった。#maeyama サイトは活発な鳥の囀りに加え沢水音が聴取できた。いずれも同様に特記すべき低周波音は聴取、触知できず、またヤマドリのドラミングも報告されていない。

4月28日の #tetto サイトは雨であった。雨音が聴取された。また雨音と雨音がマイクに当たる音を触知し Techtile がそれらの音を触覚刺激に変換すること、音声と同時に振動覚が伝わる事、雨粒がマイク当たる強い衝撃、雨音の柔らかい衝撃と異なる振動覚として理解できる事が判った。特にマイクに雨粒が当たる衝撃は、クリッカノイズと共に現れ、強い刺激であるのでわかりやすかった。

以上より晴天のときは、ヤマドリのドラミングが出現しなければ装置の性能が評価できないこと、雨天であれば振動覚として表現される音声はほぼ遍く存在していること、特にマイクに雨粒が当たる音は強い衝撃としてわかりやすく表現されることが判った。本実験でライブ音の聴取のために Techtile toolkit が活用できる事が示された。しかし安定的に装置の性能を評価するためには録音音源を用いる方が望ましいと考えられた。

3.4 実験 2：1 振動子 = 1 録音音源実験

ライブ音を用いて装置の性能を評価することが難しいので、録音を用いて装置の評価を行った。

表 5 に示す 8 サンプルについてそれぞれ 30 秒から 1 分程度、触覚研究者 2 名と音響生態学の専門家 1 名に触らせて感想をインタビューした。

音響生態学の研究者は以下述べている。

^{*4} ただし聴取の結果雨音が聞こえない事や鳥が良くさえずる事から「晴れ」と判断したのであり、視覚的な判断ではない

3 結果 (1) ヤマドリのドラミングと嵐の音の振動について

『ぽつりぽつりとマイクに当たる雨は、ハッキリと振動して伝わってきます。帽子に挟んで頭に当てると結構それらしい気がしました。が、風やノイズのような音は、ただただ振動子が揺れるだけで、イマイチで、おしりに敷いたり、足に挟んだりしても、自然音との一体感はありません』

触覚研究者 1 名はヤマドリのドラミングを複数回、振動子を Force Reactor から VP-2 に変えたり、Techitle のボリュームを調整するなどして聞いていた。このサンプルが触覚的に興味深いと評価していた。VP-2 に変えた場合 VP-2 がスピーカのように鳴動していた。またヘッドフォンを掛せずに音を聴取していた。すなわちヘッドフォンをする必要がないように観察された。

もう 1 名の触覚研究者もドラミングについて同様に触覚的に興味深いと評価をし、Force Reactor は風のような柔らかい触感の表現には向かないので VP-2 がより適していること、ボリュームの上げすぎは感触を損なうので 50 % 程度で十分であるという意見であった。VP-2 に変えた場合はヘッドフォンを掛けていなかった。

音響生態学の研究者もヤマドリのドラミングを触知していることを確認し、触覚的に評価の高いヤマドリのドラミングで本試験で行うことにした。

表 5 My caption

filename	Recorded Date & Time	Site	Contents
20150915234136tabushima	night, 15 Sep 2015	#tabushima	song of birds
20150918035429tabushima	early morning, 18 Sep 2015	#tabushima	song of birds, heavy rain
20150919034029tabushima	early morning, 19 Sep 2015	#tabushima	song of birds, rain
20151115072258otsuchi	morning, 15 Nov 2015	#otsuchi	storm
20150917034032yamanakako	early morning, 17 Sep 2015	#yamanakako	storm
20150923094253OTANOMO	morning, 23 Sep 2015	#otanomo	cars
20140407100740funadaike	morning, 7 Apr 2014	#funadaike	song of birds
20130501053157tetto2	early morning, 1 May 2013	#tetto	song of birds incl. drumming

3.4.1 刺激の作成

刺激は #tetto サイトの録音から特にヤマドリのドラミングの頻度が高い 2013 年 5 月 1 日 04:54:08 – 04:57:30 を切り出して刺激として用いた。同時刻にはアカハラ *Turdus chrysolaus* とトラグミ *Zoothera dauma* の囀りも収録されている (図 7(b))。

この信号を展示場所の制約から、コンピュータではなく iPhone から出力して Techtile に入力した。

3.4.2 実験手順

Minamizawa et al. (2012) のデモンストレーションと同様に、Techtile のマイクを紙コップに押し当てたまま、紙コップにビー玉を投げ込み、回転させ、被験者に低周波信号が触力覚に変換されることを被験者に説明した。それに加えて紙コップに向かって話しかけ、糸電話と同様な原理で振動がマイクに拾われ触力覚に変換されること、フィールドのマイクでも同様なことが起こる事を説明した (図 13(a))。

次にヤマドリのドラミングがこれから流す音に含まれている事を説明した。ドラミングを知らない被験者に対しては、ヤマドリのテリトリーを誇示する修正で羽根を打ち鳴らす旨説明した。VP-2 から音声信号を出力し、ドラミングが聞こえない事を確かめた。最後に振動子を強く握るように説明し共にドラミングを触知するかどうかを確認した。最後に感想を自由に喋って貰った。

3.4.3 実験結果

実験は延べ 2 日間行われた。

ロンドン大学 Goldsmith 校での実験は 2016 年 10 月 29 日に行われた。“Cyberforest” Listening to the End of the World というカンファレンスに展示を行いその場で上述の実験を行った。カンファレンスは一般に公開されており、それに参加したサウンドスケープに興味のある一般の大人およそ 40 人がほぼ全員この展示を体験した。

Ecole Supérieure d'Art d'Aix-en-Provence での実験は 2016 年 11 月 2 日に行われた。対象は芸術系の学生 (学部 1–5 年生に相当) で、授業の一環として休憩時間に展示され、およそ 20 人が展示を体験した。

Techtile のボリュームは 50 % に設定した。

ドラミングを触知できなかつたと答えた被験者はいなかつた。しかし「想像していた羽ばたきの触感とは異なる」、「初めての感触なので評価しようがない」という意見や、うつむいて何かを考え込むような仕草が観察された。

3.5 実験 3：複数振動子 = 複数録音音源実験

同時多地点の聴取のためにデバイスを作成した。

このデバイス (Mori-Touch と命名した) は、それぞれの観測サイトの音を一つ一つ、または手の大きさの範囲で複数個ずつ順番に触知できるデバイスである。

3.5.1 デバイスの試作 (1)

以上の仕様を踏まえて第 1 回目の試作を行った (図 11(a))。素材は加工のしやすさと入手の容易性から中質木質板 (Middle Density Fiberboard; MDF) とした。MDF は木材を溶解して再形成しているためベニア盤よりも均質で、レーザカッタで切断・彫刻するには適した素材である。

4 回異なった出力でレーザを出力する事により、表面に濃淡を出して彫刻を行ったのちに、部材を切断した。アイランドの下面に振動子を接着した (図 11(b))。振動子の振動が他のアイランドに影響しないよう、アイランドの支持材とアイランドははめ込み式にして、下方向に振動エネルギーを伝達しないようにし、さらに底面にはエアキャップを敷き詰め振動を隔離した。

アイランド内部にはスピーカを搭載し、可聴域の信号を出力する様に設計した (図 11(b))。スピーカのアンプや techtile 本体は外装した。

実際に運用すると振動をほとんど感じなかつた。装置の剛性が弱くエネルギーが下方向に散逸しているからと考えられた。

3.5.2 デバイスの試作 (2)

以上の検討より、Techtile 制作者ほかの援助と助言の元に、デバイスの改良を試みた。以下 Mori-Touch は全て 以下に示す改良型を意味する。

初期型のはめ込み式アイランドについては、エネルギーの損失の原因でもあるし、展示に際して強度の不足も心配されたのでこれを廃した。またインシュレータについてはエアキャップでなく



(a) 全景



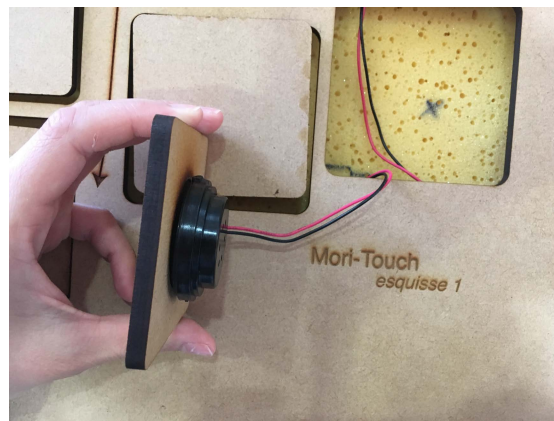
(b) アイランド内部

図 11 Mori-Touch 初期型

Eigertool の N05 スポンジとした。再制作する事に伴いアイランドの大きさを 65 mm に拡大した。スピーカは個別に出力する事をやめ、全ての信号を同じスピーカから出力する事にした。Techtile 8 ch, スピーカー 1 ch を同時駆動するために Octacapture と Adobe Audition を利用した。



(a) 全景



(b) アイランド裏側

図 12 Mori-Touch 改良版

3.5.3 刺激の作成

Cyberforest 観測地点が同時に運用されている時間の中から (図 4) 同時刻の音源を使う事を考えた。#maeyama サイトがアンソロフォニーの影響が最も少ないと考えられるので、#maeyama サイトの録音に最も「嵐」の音が多いであろう日を気象庁「日々の天気図」を参考に、北日本が荒れているの日を探した。最終的に 2015 年 11 月 27 日 00:00 から 10 分間のデータを取り出したが、#yatake サイトに設置されている電源監視コンピュータの時刻が NTP で規正されておらず +2:15 の誤差で録音が始まっている事が判った。そのためその部分を切り詰めて 7:45 の音声ファイルとした。それらの音声の中は主に風の音と雨音、枝葉のすれる音を含み、しばしばマイクの風防に風が直接当たる音*⁵とマイクに直接雨音が当たる音が入っている。

3.5.4 実験手順

実験 2 と同時に Mori-Touch は展示され、その場で参加者にコメントをもらった (図 13(b))。「これは何か？」と疑問を持つ被験者に対しては、音を同時に触る装置で、映像ならば監視カメラ (CCTV) などで同時に見る経験は既に存在するけれども、音の場合同時に聞く事は通常出来ない。この装置では触る事によって触覚的に「ヒント」が与えられることによって、いろいろな音を CCTV に様に比べながら聞く事が出来る旨、説明した。

3.5.5 実験結果

2 会場合わせて、おおよそ 3 割の被験者が流されている音は「風の音」であると答えた。またその強弱もわかると答える被験者もいた。手の甲で優しくなでる、持ち上げるなどの反応をした被験者もいたが、その被験者は音が何であるか答えなかった。おおよそ 10 人に明示的に「雨粒がマイクに当たる音を感じたか？」とインタビューしたが、「感じた」と答えた被験者はいなかった。また「風の感覚が思っていた感覚とは違う」との意見や、「(初めての触覚なので) 慣れが必要」という意見もあった。Mori-Touch は聴覚障害者が環境音を楽しむのに使えるという意見が Locus Sonus グループから出た。

*⁵ ボボボ、ないしゴボゴボといった音がする



(a) 紙コップデモの展示風景

(b) Mori-Touch の展示風景

図 13 実験 3 風景

3.6 まとめ

1 振動子 対 1 音源の関係であれば、ユーザは自分の可聴域の範囲を超えたヤマドリのドラミングなどの音を認識することができる。それを地理的に拡張した複数振動子 対複数音源の関係では、音源の大部分を占める刺激で、比較する振動子に同様の刺激が与えられている限り強弱を含めて音を識別できる。ドラミングと重機の音といった別種の刺激は本実験では試みていない。

4 結果 (2) 景観写真の自動処理と time-lapse 動画の利用

4.1 はじめに

本章では景観写真の自動処理とその time-lapse 動画の利用について検討する。景観画像のユーザインタフェース (以下 UI と記す) の提示については塚口ほか (2004) の研究があり、1 地点の景観写真を時間的に比較し教育利用した研究は中村ほか (2009) や中村ほか (2010) がある。多地点の感性情報を教育利用した研究は (中村ほか, 2016) があるので以下詳述する。

4.1.1 景観写真の公開とそのユーザインタフェースについて

塚口ほか (2004) は #yatake カメラで撮影した動画を用いて森林科学専攻の学生と森林専門官を対象に動画を比較提示する UI を作成した。塚口ほか (2004) の実験結果に基づけば、学生が楽しいと回答するのは「景観の移り変わり」が表示されるときであり、また、「同じ画面に複数の森林画像を表示し比較してみたい」とする要望も存在していることがわかる。またこのような UI や UI を通して得られた知見を応用して、専門官と国民とが広く情報を交換できるような場が整備できる事が示唆されている。

4.1.2 ヤマザクラの開花日を利用した景観写真の教育利用について

中村ほか (2009, 2010) は森林景観スナップショットを理科教材に活用する研究を行った。ヤマザクラの開花日近傍を 10 年分以上一覽させ、生徒に開花日を指摘させる。そのことから 10 年分程度では開花時期の早まりのトレンドが見られない事を気づかせ、地球温暖化のような長期的なトレンドと開花時期のような短期的なトレンドが無関係であることを体感的に納得させるプログラムを作成した。このプログラムを他年度展開する事、あるいは多数の小学校で行う事、開花日以外のトピックを扱う事を考えると、10 年分以上×1 ヶ月分程度の静止画を用意する事が問題と考えられる。

Cyberforest 研究会が公開している「ブナの知恵」指導案 (中村ほか, 2010) にしても同様に、画像を最大 20 秒に 1 枚撮影される膨大な画像ライブラリから検索することは非常に労力を要する。

2015 年度の甲斐市立竜王小学校での実践から、動物が撮影されると生徒は興味を持って映像を

観察するようになった(中村ほか, 2016).

しかしながら景観画像に動物など興味を惹く画像が映る頻度は少ないので本研究では1サイトの景観情報を機械処理をする事で利用する方法を検討する.

4.1.3 観測サイトが多地点である事を利用した教育利用について

Cyberforest project は大槌中学校(岩手県大槌町)と竜王小学校(山梨県甲斐市)の間で, それぞれの風土や景観の違いを意識させた教育プログラム(「遠隔の友達の自然と文化を知る」学習)を展開している. Cyberforest の観測を用いる事で, 大槌中学校近辺の様子を実時刻で, 竜王小学校の生徒に説明できる(中村ほか, 2016).

本研究では多地点の情報を利用した環境学習の方法に示唆を与えるためのコンテンツと, ユーザインタフェースの仕様について検討する.

4.2 仕様の検討

以上の検討より, 多地点の景観画像を同時に観察できるソフトウェアを開発する. タブレット PC (iPad) で運用できれば, 持ち運びしやすく他者に提示することも, 日常的に景観画像に触れる事もしやすく, また小学校での環境教育にも便利なので iPad で制作する.

景観の移り変わりが確認できるのは1日4000枚近い画像の内でも限られるので, 景観が移り変わっていく様子を特に機械的に認識し強調表示・共有する機能を実装する.

4.3 提示デバイスの試作

iPad 上で提示ソフトウェアを構築した(図14). 処理はサーバで処理される(サーバサイド)部分と, iPad 上で処理される(クライアントサイド)部分に分かれる.

4.3.1 サーバサイドの処理

サーバサイドでは, 現在時刻から1日分の画像を取得する処理, 破損画像を検出する処理, 観測欠落時間を「カチンコ」画像で埋める処理, MPEG 4 動画を作成する処理, 前後の画像の輝度差に基づく変化の大きい画像を検出する処理を行っている.

サーバサイドでは 20 分ごとに処理プログラムが実行される。処理プログラムは次のメソッドから構成される。

破損画像を取り除くメソッド `rm_damaged_file` について説明する。画像は撮影時や通信時に正常に伝送されない事があるので、このメソッドは送信される jpeg 画像が ISO/IEC 10918-1:1994 に定めるヘッダとフッタを有するか調べる。また QVGA の画像は中途でのファイルの欠落が VGA に比べて起こりやすいので 100 kB に満たないファイルを破損画像と見なしている。

`shape_and_take_file` は景観画像を 1 日あたりに 1440 枚まで削減するメソッドである。Cyberforest の景観画像は 20 秒に 1 枚撮影されており、1 日に 4320 枚の景観画像がある。一方ユーザが iPad の画面を注視するのは 1 分程度と考えられる。iPad の画面リフレッシュレートは 60 Hz であることから $60 \text{ frame s}^{-1} \times 1 \text{ min} = 3600 \text{ frame}$ の画像が提示できる。しかし 3600 枚からなる mp4 動画を iPad に読み込んだところ iPad でメモリ不足が生じた。30 frames per second にすると提示できる画像枚数は 1800 枚なので、景観画像に換算すると 1 分間に 1 枚とすればよく 1440 枚となった。

画像は計算量削減のため単色化して機械処理された。単色化アルゴリズムは人間の視覚特性を考慮して、輝度信号を利用した。画像の各ピクセルの赤信号、緑信号、青信号の強度 (0–255) までを r, g, b とおくと、 $y = 0.299r + 0.587g + 0.114b$ で計算した (International Telecommunication Union, 2015)。高速化のため OpenCV (Itseez, 2015) をラップし、各ピクセルの差の絶対値の総和で評価した：

$$Y = \sum_i |y_i^2 - y_i^1|$$

ここに i はピクセル番号、 y^2, y^1 はそれぞれの画像を示す。

`create_mp4` メソッドは景観写真から動画を作成するメソッドである。このメソッドでは 1440 枚の画像から 50 MiB 程度の time-lapse 動画が作成される。

以上の処理を pseudo-code で示す (リスト 1)。

リスト 1 CyberforestMap のサーバサイド処理

```

1 def rm_damaged_file
2   if ファイルサイズ < 100 kB && tetto, yatake, maeyama のファイル
3     ファイルは破損している
4     ファイルを nil で置換する
5   return
6 end

```

4 結果 (2) 景観写真の自動処理と TIME-LAPSE 動画の利用

```
7
8  if ファイルが "ffd8" から始まらない || ファイルが "ffd9" で終わらない
9     ファイルは破損している
10    ファイルを nil で置換する
11    return
12  end
13
14  ファイルは正常
15  return
16 end
17
18 def shape_and_take_file
19   ファイルの作成時間をファイル文字列より取得
20   1 分毎に array に配列する
21   # 例：いくつかのファイルは壊れていると仮定する。
22   # ファイルの作成時刻 =
23   # [ ... [1:23:02, 1:23:22], [1:24:03, 1:24:24, 1:24:54], [nil], [1:26:03] ... ]
24   配列の最初のファイルを取り出す
25   # [ ... [1:23:02], [1:24:03], [nil], [1:26:03] ... ]
26   return
27 end
28
29 def cv2_bgr2gray
30   gray = 0.299 * r + 0.587 * g + 0.114 * b
31   return gray
32 end
33
34 def sum
35   pixel ごとの総和を取る
36 end
37
38 def create_mp4
39   nil をカチンコ画像で置換する
40   mp4 動画を作成する
41 end
42
43 picts = 画像ファイルたち
44 # 例：ファイルの作成時刻で画像ファイルを示す。* 付きのファイルは壊れていると仮定する。
45 # picts = [... 1:23:02, 1:23:22, 1:24:03, 1:24:24, 1:24:54, *1:25:02, 1:26:03 ...]
46
47 picts = picts.shape_and_take_file
48 picts.each_index do |idx|
49   break if picts[idx+1] が picts.last と同一のオブジェクト
50   if difference = (picts[idx].cv2_bgr2gray - picts[idx+1].cv2_bgr2gray).abs.sum
51     difference をファイルに出力する
52   else # picts[idx], picts[idx+1] どちらかが nil のとき
53     difference = nil とファイルに出力する
54   end
55 end
56 picts.create_mp4
```

4.3.2 クライアントサイドの処理

クライアントには swift で書かれている。mp4 動画を 8 サイト 11 カメラ同時に再生する機能 (図 14(a))、選択した 1 つのカメラの動画を拡大表示する機能 (図 14(a))、輝度差の大きな画像を 3 時間あたり 20 枚 提示する機能 (図 14(b))、提示された画像 160 枚から 1 枚選んで twitter に投稿する機能がある (図 14(c))。

図 14(a) の A をタップすると図 14(b) に遷移し、図 14(b) の任意の画像をタップすると図 14(c) に遷移する。図 14(b) の 1 画面には 20 枚の画像が同時に表示され、これは 3 時間あたりに抽出される輝度差の大きな画像の数に等しい。この画面はスクロールし 8 画面相当ある。

任意の画像をタップすれば図 14(c) に遷移する。Twitter の投稿と画像の共有に便利のようにタップした画像に対応する URL リンクが既書き込まれた状態で、投稿画面が表示される。

4.4 機械評価の結果

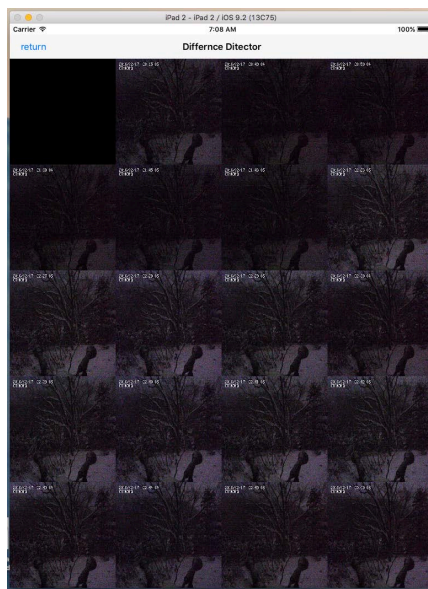
Cyberforest Project の実践によると、動物が景観写真内に写ると生徒の景観写真に対する興味が増すことが判っている。その一方 塚口ほか (2004) によると景観が移り変わる画像が興味をひくとされている。ここでは景観の移り変わる画像を輝度差の大きい画像と定義し、輝度差の大きい画像の検出方法で動物の写っている画像も検出できるか検討する。

図 15 は 2015 年 11 月 29 日の #yamanakako カメラで撮影された画像から輝度信号 Y を計算したものである。その計算結果より、CyberforestMap で用いている 3 時間あたり輝度変化の最も大きい 20 画像を抽出するアルゴリズムに基づいて選択した画像を図 16 内に強調表示 (画像の上側に赤線) して示した。ただし 0:00 を起点とし毎 3 時間毎に評価を行った。

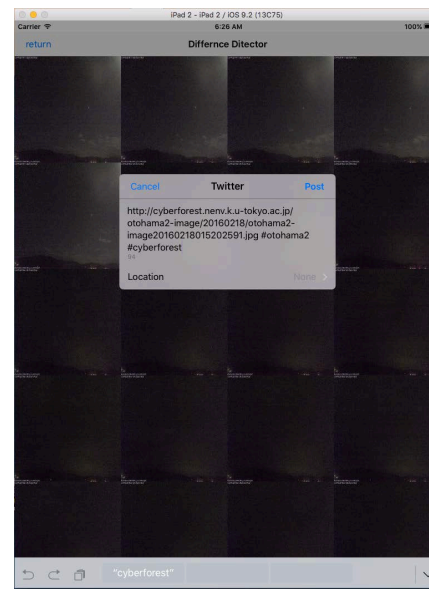
図 15 よりピークの群を目視で 6 つに分け図 16 と対応させて記述する。図 15-a 群は日の出直後の太陽がカメラに直射し、輝度が変化する時間に対応する。図 15-b 群は木の幹に日差しがさして輝度が変化している。図 15-c 群はレンズが曇り、そのため輝度の変化が生じている。図 15-d 群でシカ 1 頭を検出している。ただし全てのコマを検出できていない。図 15-e 群以降夕刻となり画像が暗くなっている。そのため自動でカメラの感度が上がり色調が緑がかった (図 15-e)。図 15-f で日没となった。



(a) 動画再生画面



(b) 処理済み画像選択画面



(c) Twitter 投稿画面

図 14 Cyberforest Map の画面

2015年11月29日については、機械評価の結果選択されたファイルたちは、それぞれのファイルについて個別に議論する事は行わないが、傾向として景観変化の大きいものが選ばれていることが判った。

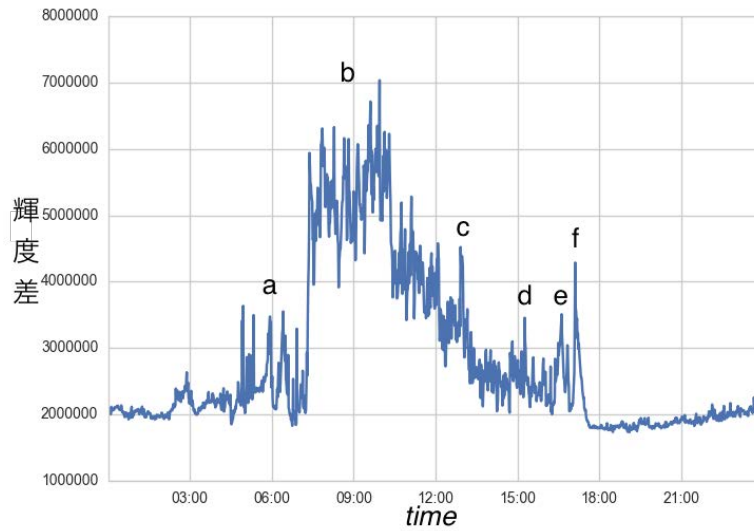


図 15 #yamanakako 2015-11-29 の異常検出結果

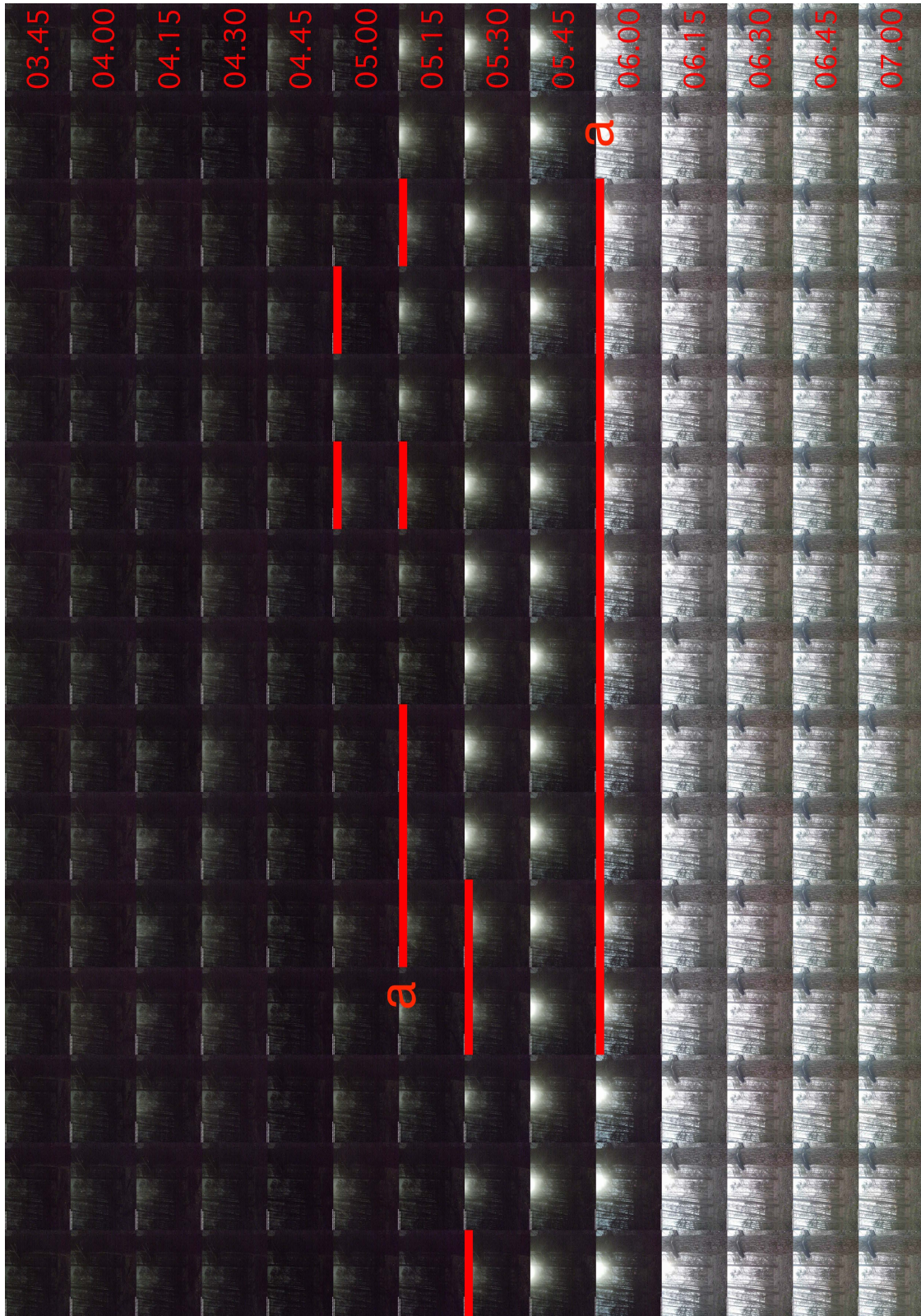


図 16 #yamanakako カメラ

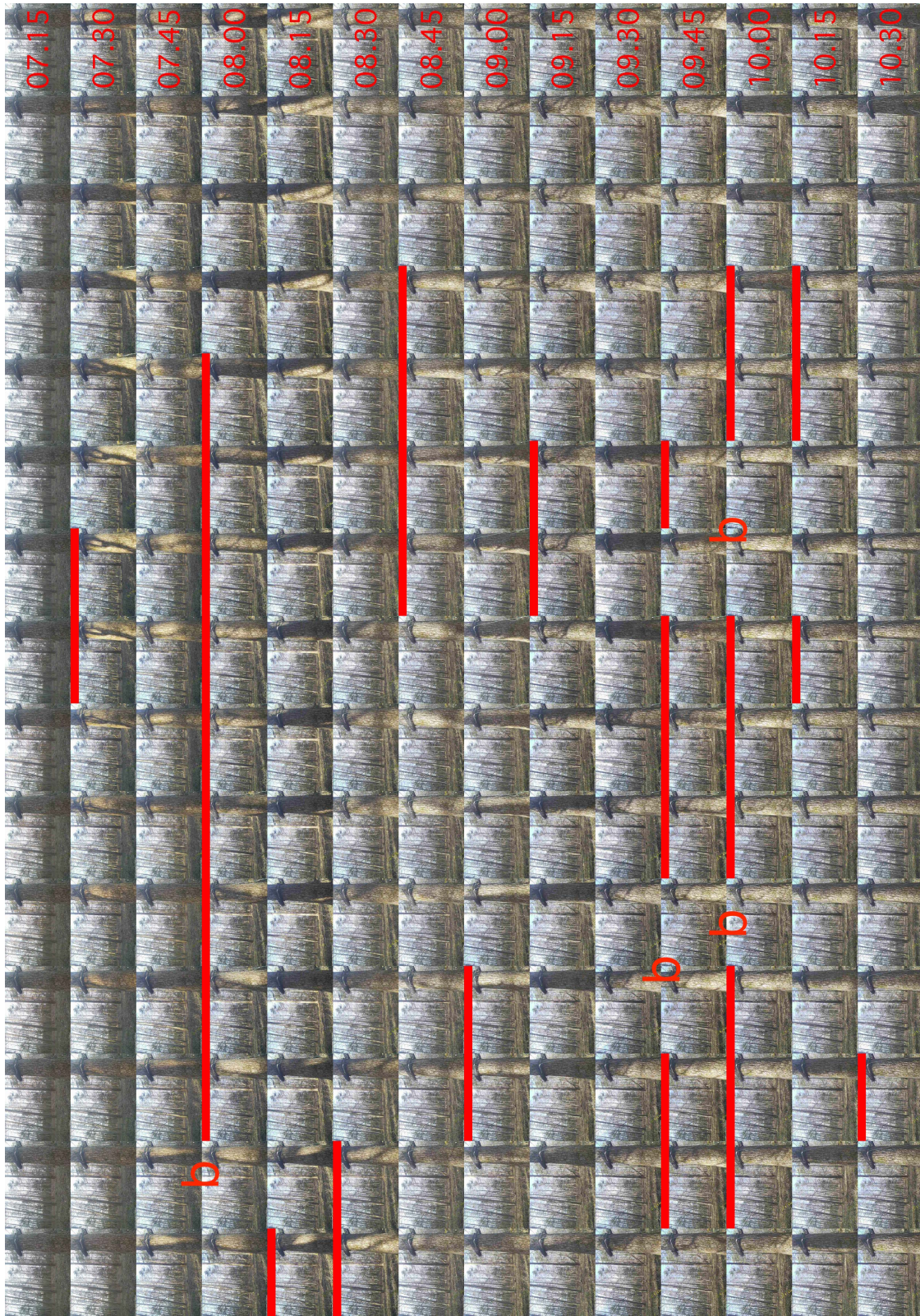


図 16 (Cont.) #yamanakako カメラ

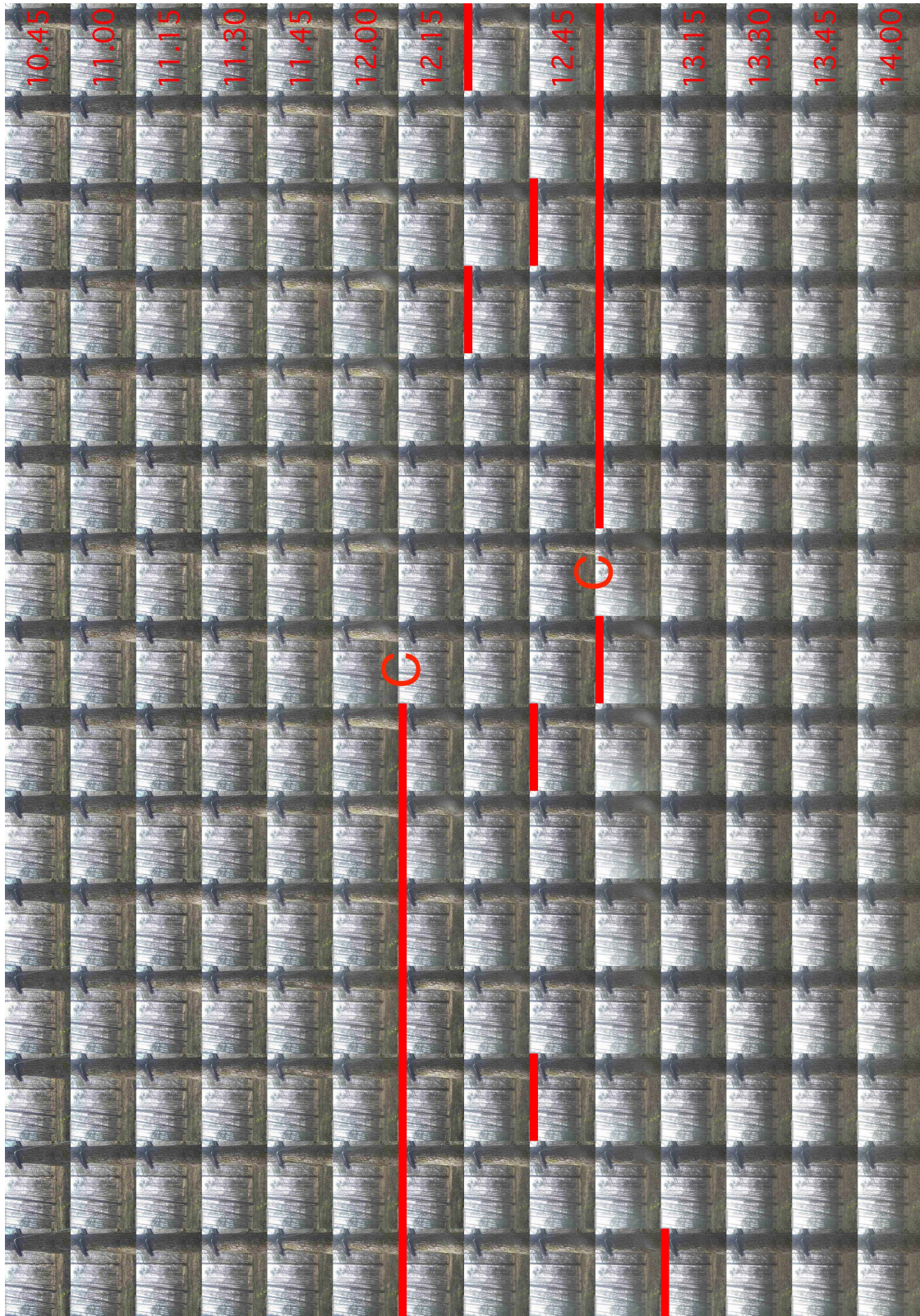


図 16 (Cont.) #yamanakako カメラ

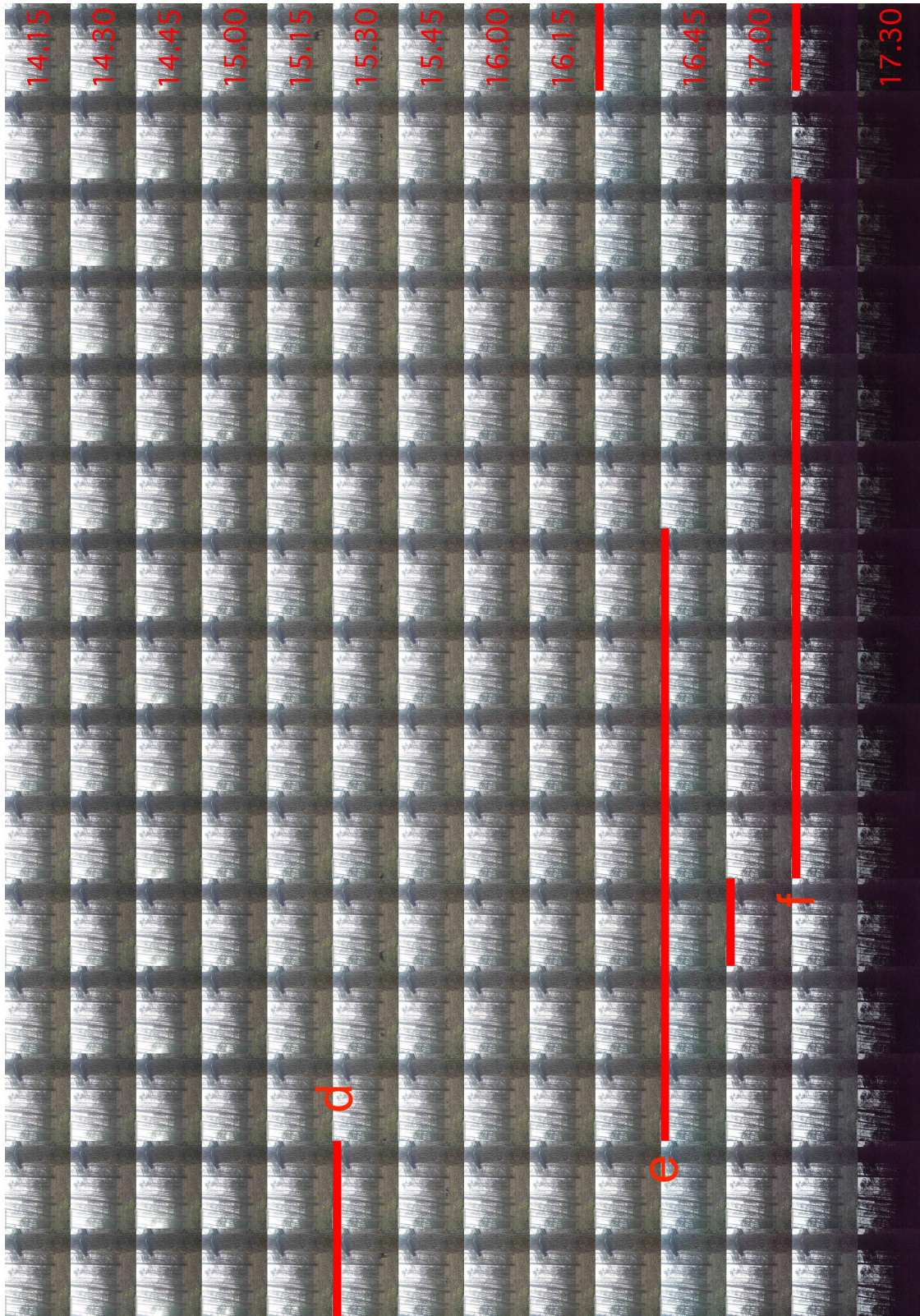


図 16 (Cont.) #yamanakako カメラ

4.5 time-lapse 動画の同期再生

春分, 夏至, 秋分, 冬至それぞれの日について time-lapse 動画を複数サイト間で同期して再生すると図 17 のようになる。図 17 の赤枠は日の出の時間を表している。動画の提示位置がサイトの地理的なトポロジーを反映している事から, 同期再生するとユーザは必ずしも東のサイトから日の出を迎える訳でない事 (冬至のみ逆パターンを示している) ことが直感的に認識される。现阶段ではアーカイブを任意には time-lapse 動画化できないが, その機能を付す事で太陽の動きの学習を支援できる。

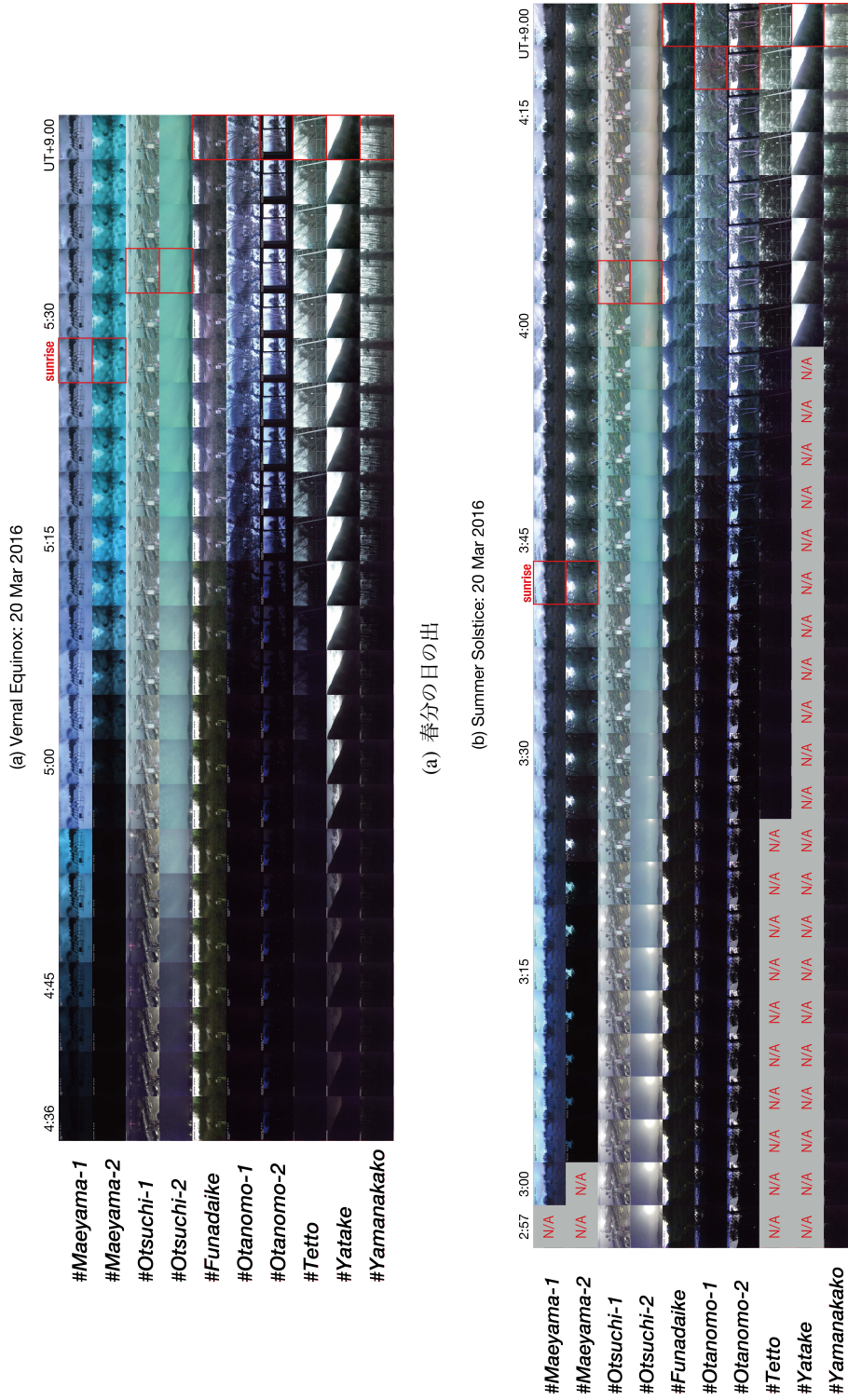
図 17 に示されるように日の出の場所の順序は, 冬至と夏至とで異なるし, それぞれの地点の明るさも異なる。このような事が直感的に多地点を同時把握する事で観察出来ることは, 理科教育的に意義のある事である。

4.6 まとめ

1 観測地点の景観映像を機械処理を介す事で, 効率的に探索できるインターフェースを作成した。輝度が環境情報の機械処理に有効である事が示唆された。

複数地点の景観画像を, 地理的なトポロジーを維持したまま同期再生する事でユーザは直感的にサイトの環境変化を理解できることが予想される。Cyberforest Map は同時多地点の景観写真を使った環境教育の授業実践について示唆を与える。

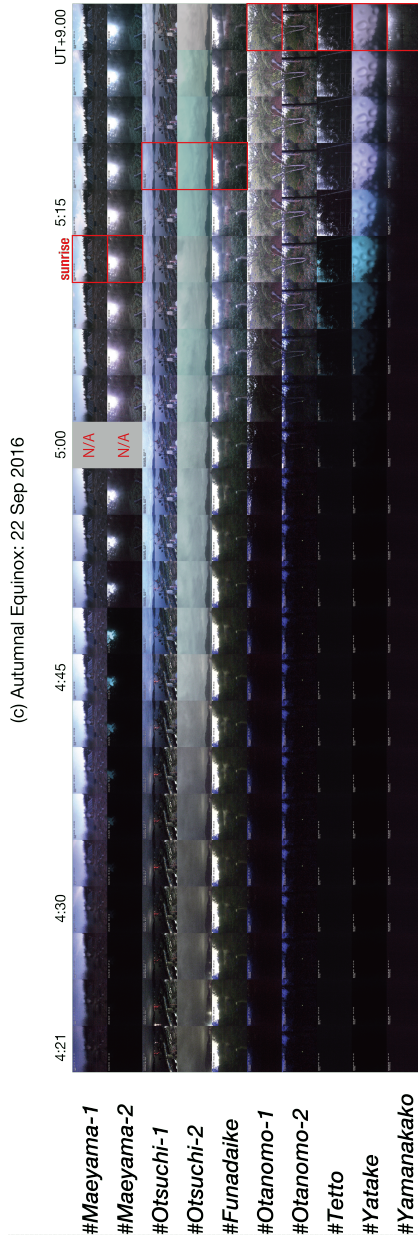
しかし Cyberforest Map は一度の timelapse 画像の読み込みで 550 MiB 近くダウンロードすることから, 大学での展示のようなネットワーク的に恵まれた環境でしか運用できない。実際の小中学校の授業で使用するには, 通信方法を再考する必要がある。



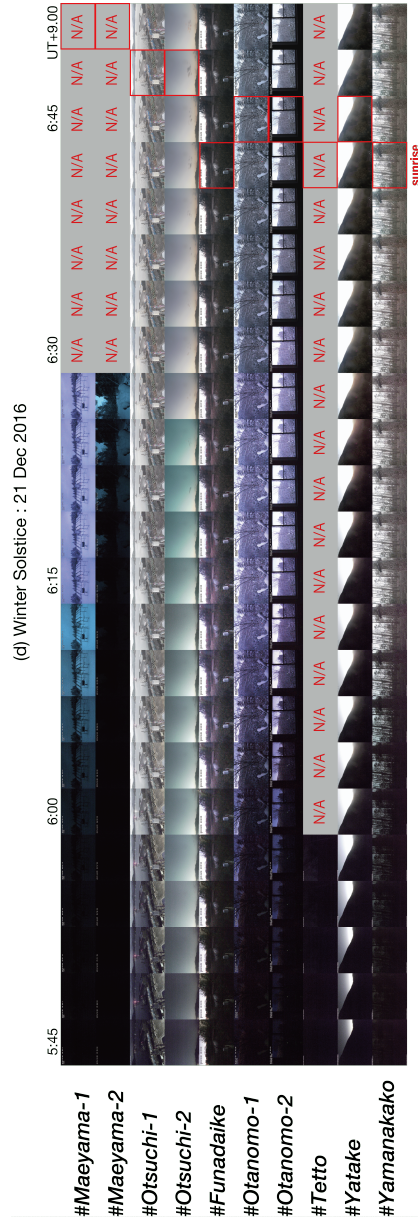
(a) 春分の日の出

(b) 夏至の日の出

図 17 日の出



(a) 秋分の日の出



(b) 冬至の日の出

図 17 (Cont.) 日の出

5 考察

1 観測地点から提供される感性情報を、人間の聴覚を拡張し可聴域外の信号を感じる事が出来る、あるいは視覚的には時間をさかのぼって景観画像を探索できるユーザインタフェースを実装したことにより、サイバーフォレストだけでなく、一般の定点観測された感性情報の利用法について示唆した。

多地点の感性情報を直感的に取り扱う手段を検討し、振動覚による知覚装置と、至近 24 時間の 11 台のカメラ画像を 45 秒の動画に変換し、11 台のカメラの位置を地理的トポロジーを意識して配置し、多地点動画を同時同期再生して視覚による時空間比較アプリケーションを実証的に開発することでサイバーフォレスト感性情報の共有の可能性を示唆した。

謝辞

本論文は以下の方々のご指導、ご協力によって書くことが出来ました。

指導教官である東京大学大学院新領域創世雅楽研究科 斎藤馨教授に感謝いたします。斎藤先生からは本研究を進めるに当たって多大な指導を頂きました。慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 南澤孝太准教授と北海道大学電子科学研究所 仲谷正史博士は、Techtile toolkit をお貸しいただき、またころよく研究室の機材を使わせていただきました。

東邦大学 藤稿亜矢子准教授には、本研究をイギリス・フランスで発表するに当たりお力添えを頂きました。Grant Smith 氏 (Sound Camp, UK), Maria Papadomanolaki 博士 (同), Peter Sinclair 教授 (École supérieure d'art en Aix-en-Provence, France), Grégoire Lauvin 氏 (同) には作品について有益なコメントを頂き、有意義な議論を交わせました。Hervé Glotin 教授 (Université de Toulon, France), Julien Ricard 氏 (同) には、自然音の機械解析においてアドバイスを頂きました。

東京大学空間情報科学研究センター 小林博樹講師、中村和彦助教、浜泰一博士には論文の構成をつぶさにご指導いただきました。斎藤研究室のメンバーには 세미나において、貴重な意見を頂きました。

以上の方々に深く感謝いたします。

本論文を家族に、特に 2016 年春に死去した祖父 下徳浩令に捧げます。

参考文献

- 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」日本林学会論文集, 107, 103–104.
- 藤原章雄 (2003). 「天然林樹冠部ロボットカメラの長期連続運用」東京大学農学部演習林報告, 100, 159–176.
- HARMAN International Industries (2013). “Cutsheet K612 pro,” URL: http://cloud.akg.com/8761/k612pro_cutsheet.pdf.
- Hendry, S. H., Hsiao, S. S., and Brown, M. C. (2008). “Fundamentals of Sensory Systems,” in Squire, L., Berg, D., Bloom, F., Lac, S. D., Ghosh, A., and Spitzer, N. eds. *Fundam. Neurosci.*, London: Elsevier, 3rd edition, Chap. 23, 535–549.
- International Telecommunication Union (2015). “Recommendation ITU-R BT.601-7,” Technical report, 1–20.
- Itseez (2015). “Open Source Computer Vision Library,” <https://github.com/itseez/opencv>.
- Joy, J. and Sinclair, P. (2015). *Locus Sonus : 10 Ans d’Expérimentations en Art Sonore: Le mot et le Reste*, 319.
- Krause, B. (2012). *The Great Animal Orchestra: Finding the Origins of Music in the World’s Wild Places*, Boston: Little, Brown and Company, 288.
- 黒沢令子・植田陸之・斎藤馨 (2013). 「志賀おたの申す平における森林性鳥類のさえずり活動の研究：長期モニタリングの基礎資料」志賀自然教育研究施設研究業績 (50), 7–11.
- Minamizawa, K., Kakehi, Y., Nakatani, M., Mihara, S., and Tachi, S. (2012). “TECHTILE toolkit,” in *Proc. 2012 Virtual Real. Int. Conf. - VRIC ’12*, 1, New York, New York, USA: ACM Press.
- 中村和彦・斎藤馨・藤原章雄・岩岡正博・安東孝二 (2009). 「森林モニタリング映像デジタルアーカイブを用いた環境教育用コンテンツの制作」ランドスケープ研究, 72 (5), 631–634.
- 中村和彦・浜泰一・斎藤馨・米谷法子・藤原章雄 (2010). 「森林映像アーカイブにおける樹木フェロロジー情報の整備と小学校理科授業への応用」ランドスケープ研究, 73 (5), 577–580.
- 中村和彦・斎藤馨・藤原章雄・奥山賢一・中村忠廣・伊東恵子・八代一浩 (2016). 「森林フィールド

- ドワークを原体験とした小学校授業におけるインターネットと映像コンテンツの活用」日本森林学会大会学術講演集, 127, T7-4.
- 仲谷正史・笈康明・南澤孝太・三原聡一郎・館 暉 (2014). 「触感表現の一般普及に向けた方法論とテクニカルワークショップを通じたその実践」日本バーチャルリアリティ学会誌, 19 (4).
- 則久雅司 (2001). 「インターネット自然研究所の構築に際して」国立公園 (596), 26-31.
- 大槌町 (2015). 「東日本大震災津波 大槌町被災概要」 Technical report, Otsuchi Town, Iwate, 1-14.
- Saito, K., Nakamura, K., Ueta, M., Kurosawa, R., Fujiwara, A., Kobayashi, H. H., Nakayama, M., Toko, A., and Nagahama, K. (2015). “Utilizing the Cyberforest live sound system with social media to remotely conduct woodland bird censuses in Central Japan,” *Ambio*, 44 (Suppl. 4), 572-583.
- 生物多様性センター (2001). 「インターネット自然研究所」, URL : <http://www.sizenken.biodic.go.jp/> (アクセス日: 2016-12-27).
- 塚口馨介・斎藤馨・藤原章雄・熊谷洋一 (2004). 「森林映像を活用するためのユーザインタフェースのデザインに関する研究」ランドスケープ研究, 67 (5), 737-740.
- 植田睦之・黒沢令子・斎藤馨 (2012a). 「森林音のライブ配信から聞き取った森林性鳥類のさえずり頻度のデータ」 *Bird Research*, 8, R1-R4.
- 植田睦之・平野敏明・黒沢令子 (2012b). 「長時間の録音データから鳥のさえずり状況を知るための聞き取り時間帯の検討」 *Bird Research*, 8, T1-T6.
- 矢田豊・江崎功二郎・小谷二郎 (2011). 「人工林における下層植生量と鳥類生息状況の関係」石川県林業試験場研究報告, 43, 13-18.