

- 1 本原稿は投稿・審査中の未定稿であり、記述の内容は査読を経ていないことをご了承く
- 2 ださい。論文が掲載された後は、それを引用してご活用ください。
- 3
- 4 This manuscript is a pre-print, currently under review for publication. Thus please note that the
- 5 information provided in this manuscript has yet to be peer-reviewed. Please cite the published
- 6 version, not this manuscript, once it is accepted and published.

- 7 表題：保全科学における情報のギャップと3つのアプローチ
- 8 英語表題： Information gaps in conservation science and three potential approaches
- 9 簡略表題：保全科学における情報のギャップ
- 10
- 11 著者：天野達也
- 12 Authors： Tatsuya Amano
- 13 所属：ケンブリッジ大学 動物学部 保全科学グループ
- 14 所属英文： Conservation Science Group, Department of Zoology, University of Cambridge
- 15
- 16 連絡著者：天野達也
- 17 住所： The David Attenborough Building, Pembroke Street, Cambridge CB2 3QZ, UK
- 18 住所英文： The David Attenborough Building, Pembroke Street, Cambridge CB2 3QZ, UK
- 19 Phone: +44 (0)1223 769468
- 20 e-mail: amatatsu830 [at] gmail.com
- 21

22 要 約 :

23 現在も進む生物多様性の喪失に対して科学が如何にして貢献できるのかは、保全科学に
24 にとって重要な問いである。科学が生物多様性の保全に貢献するためには、データを集積
25 し、そこから科学的知見を得て、その知見を現場で活用するという情報利用の過程を経
26 る。しかしこの過程にはいくつもの「ギャップ」が存在し、保全に対して科学が貢献す
27 る際の大きな障壁となっている。本稿では保全科学が直面する情報のギャップの特性と
28 解決策について議論する。例えば、研究に利用できる一次データの量は、場所や年代、
29 分類群、データの種類によって大きく異なる。これはデータ収集の対象が、保全上の需
30 要のみならず、データの取得し易さ、基礎科学的な動機、地理的・社会的な制約などそ
31 の他の要因によっても決定されることに起因する。一方、研究の成果が保全の現場で活
32 用されないという研究-実務間ギャップの存在もよく知られている。これは研究が提供
33 する知見と現場が必要とする知見が異なること、保全活動や政策の関係者にとって科学
34 的情報がアクセスしにくいことなどが原因であると考えられる。本稿ではさらにこれら
35 のギャップを克服するための三つのアプローチを紹介する。まず一つ目は、利用できる
36 一次データの底上げを図る試みである。次に、限られた情報からモデリングによって有
37 用な知見を得ようとする試みを紹介する。最後に、保全活動や政策の現場がどのような
38 知見を必要とし、科学者がどうやって成果を提供できるのかを理解することも重要であ
39 る。これら三つのアプローチについて具体的な事例も取り上げながら、今後保全科学に
40 おける情報のギャップを解消していくために必要な取組みについて議論を行う。

41 キーワード : 科学的根拠に基づいた保全; 市民科学; 情報の偏り; 保全生物学

42 Abstract :

43 How science can contribute to halting ongoing biodiversity loss is a crucial question in
44 conservation. Conservation science usually collects data, derives scientific knowledge from
45 them and applies the derived knowledge to conservation practices and policies. There exists,
46 however, a number of “gaps” in this process of information use, representing barriers between
47 science and conservation. This paper first reviews the detail of these gaps in conservation
48 science. For example, the amount of existing data varies greatly over space, time, taxa and data
49 types. This is mainly because survey efforts are determined by, not only demands in
50 conservation, but also a variety of other factors, such as the ease of data collection, scientific
51 interests, and other constraints. The research-implementation gap, i.e., science not being used in
52 conservation practices and policies, is another well-known type of gaps in conservation science.
53 This gap results from, for example, a difference between knowledge provided by scientists and
54 that required by practitioners and policy makers, and inaccessibility to scientific information for
55 those decision makers. Finally, this paper lists three types of potential solutions: increasing the
56 amount of scientific data, using statistical modelling to make the best use of imperfect data, and
57 transcending barriers between science and practices.

58 Key words : Citizen science; Conservation biology; Evidence-based conservation; Information
59 biases

60

61

はじめに

62 保全生物学 (conservation biology) という学問分野が Soulé (1985) によって明確に定
63 義されてから約 30 年が経つが、地球規模での生物多様性喪失という問題は未だに改善
64 の兆しを見せていない(Butchart et al. 2010; Tittensor et al. 2014)。そこで、生物多様性の
65 保全を実現するためには保全生物学のみに捉われず、関連する学問分野を総動員して学
66 際的に取り組む必要があるという認識が、近年益々高まりつつある(Kareiva and Marvier
67 2012)。Mace (2014)はこの生物多様性保全に関わる学問の移り変わりを、1960 年代の「自
68 然そのものための自然 (nature for itself)」、1970~80 年代の「人類に対する自然 (nature
69 despite people)」、2000 年代からの「人類のための自然 (nature for people)」、そして 2010
70 年代からの「人類と自然 (people and nature)」というキーワードで表している。地球環
71 境の保全と社会の発展を切り離して考えることはできず、人類による様々な活動の枠組
72 み内部に生物多様性の保全という概念を位置づけて、その上で科学が如何にして目的達
73 成のために貢献できるのかを追及していく必要があるだろう。保全生物学だけを推進す
74 れば生物多様性の保全が達成されるという認識は捨て、科学が保全に貢献するための過
75 程に存在する障壁を理解し、それを取り除いていく努力が今まさに求められている。そ
76 れを追及するのが、本稿で注目する保全科学 (conservation science) という学問分野で
77 ある。

78 科学が生物多様性の保全に直接貢献するためには(注:本稿では基礎科学による間接的
79 な貢献は取り扱わない)、データを収集し、そこから科学的知見を得て、その知見を現場で活
80 用するという情報利用の過程を経る(図 1)。例えば減少が懸念されている生物種を対象とする

図 1

81 場合、まず各地で個体数の調査を行い(データの収集)、個体数データの解析によって減少
82 率や減少地域を解明、また減少要因を特定し(科学的知見の取得)、その結果に基づいてレ
83 ッドリストに指定、また保護区の設定や実際の保全活動を行う(現場での活用)、といった流れ
84 が考えられる。しかしながら、これら三つの過程は異なる背景を持つ人々によって独自の目的
85 のもと担われることが多く、結果としてこの情報利用の過程には複数のギャップ、すなわち需給
86 の不一致、が存在している。例えば、データの収集は生態学や博物学、または市民科学に携
87 わる人によって、データの取得しやすさ、基礎科学的な興味、また経済・地理・歴史・社会的な
88 ど様々な制約の下、行われることが多い。一方で、科学的知見を得ようとする保全生物学では、
89 しばしば保全上の優先度が高い種や生態系などのデータを特に必要とする。その結果、デー
90 タ収集と科学的知見の取得という過程の間には、得られる情報のギャップが生じる(図1)。また、
91 保全生物学に携わる研究者は、研究費を取得して、共同研究者や学生と魅力的な研究を行
92 い、成果を論文という形で出版するという一連の科学研究を行っていく必要がある。そういった
93 過程で生み出される研究成果は、実際の保全活動や政策の現場で必要とされる科学的知見
94 の種類やタイミングと必ずしも一致しない。これによって研究－実務間のギャップが生じること
95 なる(図1)。こういった情報利用の過程に存在する複数のギャップは、生物多様性の保全に対
96 して科学が貢献する際の障壁となっている。生物多様性条約(CBD)による愛知目標や、生物
97 多様性及び生態系サービスに関する政府間科学－政策プラットフォーム(IPBES)による国際
98 的な評価、また環境省による生物多様性及び生態系サービスの総合評価(JBO)などを通して、
99 科学の果たす役割が国内外で問われている今、まさに我々はこの情報のギャップに能動的に
100 挑んでいく必要があるだろう。

101 本稿では、まず保全科学が直面している情報のギャップの詳細とそれを生み出す要因につ
102 いて説明する。次に情報のギャップを克服するための取組みとして、(1)情報が少ない種や地
103 域を対象とした一次データの集積、(2)モデリングの活用、(3)研究－実務間の橋渡し、とい
104 3つの側面から具体的な取組みについて議論することを目的とする。

105

106 保全科学が直面する情報のギャップ

107 得られる情報のギャップ

108 生物多様性に関してこれまで蓄積されてきた科学的情報は、空間的、時間的、また分
109 類群間においてその量が大きく異なっていることが知られている。例えば、地球規模生
110 物多様性情報機構 (GBIF) に代表されるような、電子的に公表されている種の在デー
111 タは、ヨーロッパや北中米、オーストラリアなどに偏って存在しており、アジアやアフ
112 リカ、南米の一部では非常に少ないことが知られている(Meyer et al. 2015)。このような
113 情報量の地球規模での空間的偏りは、個体群動態データや行動データなど他の種類のデ
114 ータにおいても確認されている(図 2 : Amano and Sutherland 2013)。この問題は全球スケ
115 ールだけにはとどまらない。例えば UK Phenology Network (www.naturescalendar.org.uk,
116 2016年7月29日確認) は1753年から現在に至るまで約40万件にも及ぶ植物の開花時
117 期データを英国全土で集積しているが(Amano et al. 2010)、そのデータの分布は特に人口
118 の多い主要都市近辺に偏っている(図 3)。さらに局所的な例として、Dennis and Thomas
119 (2000) は、マンチェスター蝶類調査のデータ分布が3×2 kmの調査区内においても大
120 きく偏っていることを示している。このようなデータ量の空間的偏りは、データを取得、

図 2

図 3

121 集積する過程に関わる多様な要因、例えば各国の経済レベル、英語の話者数、データベ
122 ースを管理する国からの距離、安全レベル(Amano and Sutherland 2013)、研究者や研究費
123 の分布(Meyer et al. 2015)、保護区や特定の生態系の存在(Martin et al. 2012)、また局所的
124 には調査者の拠点からの距離や調査対象の生物種数(Dennis and Thomas 2000) などによ
125 って説明されることが示されている。その他にも地域による科学的興味 (Doi and
126 Takahara 2016) や文化の違いなども、収集されるデータの量に影響するだろう。科学研
127 究で利用できる情報量にこのような空間的偏りが存在すると、得られる科学的知見も偏
128 ってしまうという問題が生じる。例えば、現存する個体群動態データの量は北半球の中
129 緯度地域をピークとして南北の高緯度地域及び低緯度地域では極めて少ない(Collen et
130 al. 2008)。一方で、気温の変化や降水量の変化が生物個体群に及ぼす影響は緯度によっ
131 て大きく異なることが示唆されているため(Pearce-Higgins et al. 2015)、気候変動が生物
132 個体群に及ぼす影響について、データの多い北半球の中緯度地域で得られた知見を高緯
133 度及び低緯度地域に適用することはできないであろう。

134 科学研究に利用できる情報の量は、時間的にも大きく偏って分布している。過去 100
135 年以上の時間スケールで見ると、生態学的データの収集量は増加傾向にあるものの
136 (Meyer et al. 2016)、過去数十年に注目すると、多くの地域で様々な種類のデータの収集
137 量が減少していることも知られている。例えば、GBIF に収蔵される鳥類以外の分類群
138 の在データ数は、アフリカ及び南米において近年減少している(Amano et al. 2016)。同様
139 に、オセアニアに主に分布する鳥類グループ、ミツスイ上科 (Meliphagoidea) の標本収
140 集数(Gardner et al. 2014)、アフリカ大陸で収集された植物標本数(Stropp et al. 2016)も

141 1980年代をピークにその後減少している。こういった近年のデータ数減少は、調査努
142 力量(Prather et al. 2004)や調査者(特に分類学者：Hopkins and Freckleton 2002)の減少に起
143 因すると考えられている。このように得られる情報量が時間的に偏っていることで、生
144 物多様性の時間的変化を駆動因の変化と結びつけることが困難となる。例えば、現在の
145 ところ 1980年以降の生物多様性の状態変化は全球規模である程度定量化されているが、
146 人類活動による生物多様性への影響は過去 1,000年以上に渡る時間スケールで増大して
147 きているため、人間活動が影響を及ぼす以前の生物多様性の状態を理解することは困難
148 である (Pereira et al. 2012)。またここ数十年で起こっているデータ収集数の減少は、気
149 候変動のように近年影響力を増している環境変化が生物多様性に及ぼす影響の評価を
150 困難なものとするであろう。

151 科学的情報の偏りは分類群間においても顕著である。例えば、国際自然保護連合
152 (IUCN)によって作成されているレッドリストにおいて、絶滅リスクを評価するため
153 の情報が不足している (Data Deficient) とされている種の割合は分類群によって大きく
154 異なり、鳥類ではわずか 0.6% である一方で、最も割合の高い軟骨魚類においては約
155 46% にも及ぶ(図 4 : IUCN 2015)。鳥類の総種数(10,425 種 : BirdLife International 2014)
156 は全生物種数(870 万種 : Mora et al. 2012)の約 0.1%であるのにもかかわらず、GBIF に収
157 蔵されている種の在データのうち、鳥類のデータは 43%をも占めている(Gaiji et al. 2013)。
158 空間的偏りと同様にこの問題はスケールに関わらず、例えば植物の在データ数はシダ植
159 物で多く、コケ植物で極めて少ないことが報告されている(Meyer et al. 2016)。GBIF に
160 収蔵されている在データのうち約 9%は、ナゲキバト *Zenaida macroura*、ショウジョウ

図 4

161 コウカンチョウ *Cardinalis cardinalis*、イエスズメ *Passer domesticus* など、たった 15 種
162 の普通種によって占められている(Gaiji et al. 2013)。一般に、種数や生物量が多く、観察
163 しやすい分類群、また専門家や観察・調査を行う人の多い分類群で得られている情報量
164 が多いことが知られている(Gaiji et al. 2013)。例えば、哺乳類の生活史・生態的特性に関
165 するデータベース、PanTHERIA (Jones et al. 2009)において特に多くのデータが収録され
166 ている種は、昼行性、体サイズが大きい、分布域が広い、個体密度が高い、といった特
167 徴を持っていることが示されている(González-Suárez et al. 2012)。同様に IUCN レッドリ
168 ストで絶滅リスクが評価されているトカゲ類は、体サイズが大きい、分布域が広い、北
169 半球に分布するといった特徴を持っている(Meiri and Chapple in press)。分類群間での情
170 報量の偏りは、やはり偏った科学的知見をもたらす可能性がある。例えば、IUCN レッ
171 ドリストにおいて情報不足 (Data Deficient) とされている哺乳類種は、それ以外の種に
172 比較して絶滅リスクが高いことが示唆されている(Bland et al. 2015 ; Jetz and Freckleton
173 2015)。そのため、レッドリストを用いた研究でこういった情報不足種を考慮しないと、
174 種群全体の絶滅リスクの過小評価や、絶滅リスクの空間・種間分布の誤った推定(Bland
175 et al. 2015 ; Jetz and Freckleton 2015)、また絶滅リスクと関係している種特性を見誤るこ
176 と(González-Suárez et al. 2012)などにつながると考えられる。

177 情報のタイプによって蓄積されている情報量が異なることも深刻な問題である。例え
178 ば、長期モニタリング調査に基づいたデータは、種の個体数変化など保全上重要な情報
179 を提供するものの、実際にそういったデータが存在するのは非常に限られた種群や地域
180 のみである(Isaac et al. 2014)。種の個体数変化データを集積している Living Planet Index

181 のデータベースには、現在のところ 3,669 種、16,051 個体群のデータが収録されている
182 (<http://www.livingplanetindex.org/>, 2016 年 7 月 29 日確認)。これに対して、種の在デー
183 タを集積する GBIF には、1,643,699 種のデータが 6 億件以上収録されている
184 (<http://www.gbif.org/>, 2016 年 7 月 29 日確認)。その結果、生物個体数変化の定量化は、
185 情報の豊富なヨーロッパや北米のような地域で鳥類を対象として 10 km や 1 度のグリ
186 ッドセルなど詳細な解像度で行われているものの(Bled et al. 2013 ; Massimino et al.
187 2015)、他の多くの種群では大陸レベルで行われているか(WWF 2014)、全く取り組まれ
188 ていないのが現状である。同様に、生物多様性に対する脅威に関するデータのうち全球
189 規模で得られるものは非常に限られており、その結果、例えば狩猟や漁業などを含む「資
190 源利用」は 60%以上もの絶滅危惧種にとって脅威となっているものの、現在利用できる
191 全球規模の脅威に関するデータのうち、このカテゴリーに属するものは 5%に過ぎない
192 (Joppa et al. 2016)。

193

194 研究－実務間のギャップ

195 保全生物学の発展に伴って生物多様性の保全に関わる研究が飛躍的に増加する一方
196 で、得られた研究成果が実際の保全活動に活用されないという問題、いわゆる研究－実
197 務間ギャップ (research-implementation gap) が、2000 年代から保全科学における深刻な
198 問題として注目を集めてきた。ここでいう実務には、NGO や政府機関、市民団体など
199 によって行われる保全活動、また国際機関、国、地方公共団体などによって制定される
200 環境政策が含まれる。

201 例えば、1998年から2002年の間に出版された保全上重要な地域を評価している 88
202 の論文のうち、実際に何らかの形で保全活動につながったのは 29 (33%) の論文のみで
203 あった(Knight et al. 2008)。イギリスの保全機関が編集した自然保護区管理計画で用いら
204 れた情報源で最も多かったのは過去の管理計画 (60%)、専門家の意見 (49%)、伝統的
205 な管理手法についての記述 (46%) などで、科学論文の利用頻度は 23%と低い(Pullin et al.
206 2004)。オーストラリアの保護区で管理の効果を評価する際に用いられる情報のうちほ
207 とんど (約 90%) は、科学的根拠ではなく主に個人や他者の経験に基づいている(Cook et
208 al. 2010)。米国のカリフォルニアで植物の侵入種管理に携わる専門家のうち 34%は科学
209 的情報を得るために学術誌は用いないと答えた(Matzek et al. 2014)。またイングランド東
210 部の国際的に重要な湿地、Broadland における保全管理活動で用いられてきた 170 の情
211 報源のうち、科学論文が占める割合はたったの 2%で、ほとんど (約 77%) は個人や他
212 者の経験、常識に基づいた知識であった(Sutherland et al. 2004)。このように科学研究に
213 よる成果が実際の保全活動に活かされない原因として、研究が保全活動の現場の需要に
214 基づいていない、対策の費用対効果や他の社会的要因が考慮されていない、保全従事者
215 には科学論文を探して読むための時間がない、科学論文へのアクセスがない、英語が母
216 国語でない場合言語が障壁となっている、といった要因が挙げられている(Knight et al.
217 2008 ; Segan et al. 2010 ; Bortolus 2012 ; Matzek et al. 2014)。

218 個人の経験などに基づいた知識は、特に伝統的・地域的な知識として生物多様性の保
219 全において有用な情報源にもなり得る(Adams and Sandbrook 2013)。しかし、科学的根拠
220 に基づかない個人の評価は様々な認知バイアスに影響を受けるため、誤った意思決定に

221 つながる可能性が高く (Burgman 2001)、その分野で広く認識された専門家でも必ずしも
222 正しい評価ができるとは限らない(Burgman et al. 2011)。例えば、人間による主観的な判
223 断よりも、例え現実よりシンプルなものでも数理モデルに基づいた判断の方が、偏りの
224 ない絶滅リスク推定や(McCarthy et al. 2004)、適切な漁業資源の管理方法(Holden and
225 Ellner 2016) を導けることが示されている。他者から得る科学的根拠のない情報も、誤
226 った意思決定につながる危険性がある。例えば、英国でイタドリ *Fallopia japonica* は侵
227 略的外来種として大きな問題を起こしているが、その処理方法に関するインターネット
228 上の情報には正確でないものが含まれており、参照する情報によってはさらなる拡散を
229 促進してしまう可能性がある(Robinson et al. in press)。

230 同様に、科学研究の成果が保全管理に関する政策に貢献していないという問題は更に
231 遡って 1990 年代から認識されている(Walton and Gray 1991)。科学者が適切な保全管理
232 方法について情報を提供しても、表 1 にまとめたような極めて多様な要因のため必ずし
233 も実際の政策決定・施行につながるとは限らない(Lawton 2007)。科学と政策の複雑な関
234 係をよく表している例が、英国におけるウシ型結核 (bovine tuberculosis)とヨーロッパア
235 ナグマ *Meles meles* 駆除の問題である(Sutherland and Watkinson 2001)。ウシ型結核は特に
236 英国で 1980 年代後半から感染数が増大しているウシにとって主要な病気の一つであり、
237 イングランドとウェールズ政府の試算によれば過去 10 年で 5 億ポンド (約 675 億円)
238 がその検査や補償、研究のために費やされている(Godfray et al. 2013)。かねてからこの
239 病気の制御にはウシ型結核菌の宿主であるヨーロッパアナグマの駆除が効果的な対策
240 と考えられ実行されてきたが(Sutherland and Watkinson 2001)、その効果は科学的に実証

表 1

241 されたものではなかった(Godfray et al. 2013)。そこで 1998 年から 2006 年に渡って実施
242 された大規模な実験、Randomised Badger Culling Trial (RBCT)の結果、ヨーロッパアナグ
243 マの駆除は駆除地域ではウシ型結核の感染を低下させるものの、その周辺地域ではかえ
244 って増加させることが科学的に示された (Donnelly et al. 2006)。さらに費用便益分析の
245 結果、駆除にかかる費用は得られる便益よりもはるかに高いことが示され、「ヨーロッ
246 パアナグマの駆除によって英国での将来のウシ型結核の感染を効果的に制御すること
247 はできない」という結論が最終報告書に明記された(Bourne et al. 2007)。しかしながらこ
248 の報告を受けた政府の首席科学顧問は、「ヨーロッパアナグマの駆除は継続して行われ
249 るべきである」という助言を政府に提出し(Nature Editorial Office 2007)、その後も政府
250 による駆除は行われた (Department for Environment Food and Rural Affairs 2015)。これら
251 一連の過程は、政策決定には科学的根拠以外の様々な要因が影響することをよく示して
252 いる。しかしながら、RBCT には 4900 万ポンド(約 65 億円)の費用がかかり(Department
253 for Environment Food and Rural Affairs 2011)、純便益は負であった(Bourne et al. 2007) こ
254 とを考えると、科学-政策間のギャップは社会にも大きな損害をもたらし得ることが分
255 かる。

256

257 情報のギャップに挑む3つのアプローチ

258 このような保全科学が直面している情報のギャップを、我々は如何にして克服してい
259 けるだろうか。ここからは、情報のギャップを克服するための具体的なアプローチとし
260 て、(1) 情報が少ない種や地域を対象とした一次データの集積、(2) モデリングの活用、

261 (3) 研究－実務間の橋渡し、という 3 つの側面から考察を行う。

262 一次データの集積

263 保全科学において利用できる情報のギャップを埋めるためには、現在特に情報が少な
264 い種や地域における一次データの集積を促進することが考えられる。そのための一つの
265 手段が市民科学(Dickinson et al. 2012 ; Kobori et al. 2016) である。例えば、GBIF に収蔵
266 されてきた鳥類の在データ数の時系列変化を地域ごとに比較すると、元々データ数の多
267 い北米やヨーロッパだけでなく、南米やアジアでも過去 30 年で増加率が急上昇してい
268 ることが分かる(Amano et al. 2016)。この近年見られるデータ数の急激な増加をもたらし
269 たのが、eBird (Sullivan et al. 2014: <http://ebird.org/content/ebird/>, 2016 年 7 月 29 日確認)と
270 いう一つの市民科学プロジェクトである(Amano et al. 2016)。eBird は参加者が自らの鳥
271 類観察記録を容易に記録、可視化、比較することができるツールを提供することによっ
272 て、収集するデータ数の飛躍的な増加を果たしている (Wood et al. 2011)。その結果、最
273 も鳥類の GBIF データが少ない 20 か国のうち 16 か国で、2010 年以降に GBIF に収蔵さ
274 れたデータ数の半数以上を eBird によるデータが占めている(Amano et al. 2016)。eBird
275 に類似した鳥類の在データを集積する市民科学プロジェクトは、ヨーロッパ各国で毎年
276 3000 万件のデータを集積する Euro Bird Portal (www.eurobirdportal.org/ebp/en, 2016 年 7 月
277 29 日確認)、南部アフリカで 2012 年から 800 万件以上のデータを集積している Second
278 Southern African Bird Atlas Project (<http://sabap2.adu.org.za>, 2016 年 7 月 29 日確認)、ブラジ
279 ルで 170 万件のデータを集積している WikiAves (<http://en.wikiaves.com>, 2016 年 7 月 29
280 日確認) など、世界各地に存在している。これらの新しい市民科学プロジェクトは、現

281 在得られているデータの空間的なギャップを埋めるために大きな役割を果たすだろう。

282 しかしながら市民科学もこの問題に対する万能薬とは言えない。鳥類以外の分類群で

283 は、GBIF に収集されるデータの増加率はアフリカや南米といったデータの少ない地域

284 で近年下降しており (Amano et al. 2016)、すなわちデータ量の空間的ギャップを解消する

285 際に、特定の分類群でデータを得にくいという分類群間ギャップが障壁となっている。

286 eBird に類似した市民科学プロジェクトで全ての分類群を対象としたものには、

287 iNaturalist (www.inaturalist.org)、iSpot (Silvertown et al. 2015: www.ispotnature.org)、iRecord

288 (<http://www.brc.ac.uk/irecord/>)、Pan-species Listing (<http://www.brc.ac.uk/psl/home>) などがあ

289 り、今後鳥類以外の分類群でもデータ量の空間的ギャップがこれらのプロジェクトによ

290 って埋められていくことが期待される。例えば iNaturalist から GBIF に送られるデータ

291 数は近年急激に増加しており、iNaturalist は既に両生類や淡水魚の在データを世界中で

292 集積するために積極的に活用されている

293 (www.inaturalist.org/projects/global-amphibian-bioblitz ;

294 www.inaturalist.org/projects/global-freshwaterfish-bioblitz)。鳥類など一部を除いた多くの分

295 類群において、種同定の困難さが市民科学によるデータ収集を妨げる大きな障壁となっ

296 ている。この問題に対処するために、iNaturalist や iSpot では写真をウェブ上にアップロ

297 ードすることで、種同定を多数のプロジェクト参加者に依頼するというシステムが構築

298 されている。その結果、例えば iSpot では写真の投稿後 1 時間以内に約半数、24 時間以

299 内に 88% の記録で種が同定される (Silvertown et al. 2015)。さらに同定された種の少なく

300 とも 90% 以上は正しい同定だということが示されている (Silvertown et al. 2015)。同様の

301 プロジェクトは日本でも魚類を対象に確立されている（宮崎 2016）。こういったプロジ
302 ェクトの他にも、音響調査(Riede 1998 ; Mellinger et al. 2007 ; Walters et al. 2012)、カメ
303 ラトラップ(Ahumada et al. 2011)、ソーシャル・ネットワークキング・サービス(Barve 2014)
304 や環境 DNA (Thomsen and Willerslev 2015)、リモートセンシングの活用(O'Connor et al.
305 2016)や、全ゲノムシーケンシングによる過去の個体群サイズ復元(Zhao et al. 2013 ;
306 Nadachowska-Brzyska et al. 2015)など、これまで得られにくかった種や地域、また時間ス
307 ケールにおけるデータの取得を可能とする様々な新技術が開発されている。

308 一方で、集積されたデータが必ずしも広く公開されないということも、保全科学で利
309 用できる情報のギャップを生み出す要因の一つである。例えば、生物多様性に関する国
310 際的なデータベースに収蔵されているデータ数は、各国の英語話者数と正の相関、デー
311 タベースを管理する国からの距離と負の相関を示すが(Amano and Sutherland 2013)、これ
312 は英語が母国語でなくデータベースを管理する国から遠い国で取得されたデータが、コ
313 ミュニケーション不足によって国際的なデータベースに効率的に収蔵されていない可
314 能性を示している。この問題を克服するためには、eBird で既に行われているように、
315 データが少ない地域発のプロジェクトとの提携や、プロジェクトの多言語化が重要な役
316 割を果たすだろう。そもそも収集したデータを公開するという文化がないことも障壁の
317 一つであり(Hobern et al. 2013)、日本も例外ではない(大澤ほか 2014)。そのためデータ
318 を公開する文化を教育や助成金提供などを通して培っていく必要もあると考えられる。

319 以上、一時データの底上げについて議論してきたが、当然のことながらデータの収集
320 に費やすことのできる労力は無限ではなく、全ての地域、分類群について様々な種類の

321 情報を偏りなく収集することは不可能である。そこで、まず情報のギャップがどこに存
322 在するのかを理解し、その上で限られた労力を今後どの地域、分類群、種類のデータを
323 取得するために優先的に費やしていくかを議論することが重要となるだろう。例えばア
324 イルランドでは、各分類群において、国内に存在する種数、種目録や基礎的な調査、全
325 国データベースが存在するか、保全状態の評価やモニタリング調査が行われているか、
326 など複数の側面から情報のギャップについてまとめている(National Biodiversity Data
327 Centre 2010)。このような取組みは日本を始めとした他国でも促進されるべきであろう。
328 また、現存するデータとその需要や収集に必要なコストの分布に対して、保護区の選定
329 で用いられている系統的保全計画法(Margules and Pressey 2000 ; 松葉ほか 2015)を適用
330 することで、データ収集を優先すべき地域や分類群の選出を行う取組みも可能であろう。
331 その上で、選定された地域や分類群における情報の収集を可能とする市民科学プロジェ
332 クトや専門家による調査、また新技術の開発などに対して、積極的に資金を投入して促
333 進していくことが望まれる。

334

335 モデリングの活用

336 一次データの集積を促進する一方で、現存する情報を最大限に活用して正しい科学的
337 知見を得るためには、モデリングの活用が有効である。適切なモデリングによって、デ
338 ータに含まれる誤差に対処したり(Guisan et al. 2007)、情報量の偏りを考慮して正しい科
339 学的知見を得たり、現存するデータからより多くの情報量を引き出したりすることが可
340 能となる。

341 近年多く利用されるようになった occupancy model (MacKenzie et al. 2002)はその一例
342 である。「得られる情報のギャップ」で述べたように系統的なモニタリング調査に基づ
343 いた種の個体数データは極めて限られており、通常多くの種では状態の空間分布や時系
344 列変化を定量化することは困難である。一方、「一次データの集積」で紹介した eBird
345 や iNaturalist に代表されるような系統的な調査に基づいていない種の在データは極めて
346 多く得られているが、このような調査では通常調査努力量に大きなばらつきがあるため、
347 取得されたデータを空間的また時間的に直接比較すると誤った結論を導いてしまう可
348 能性がある(Isaac et al. 2014)。そこで occupancy model を用いて生物の在不在と観察者に
349 よる発見率を別々にモデル化することで、系統的な調査に基づいていない在データから
350 種の状態（この場合、種の在確率）の空間分布や時系列変化を定量化する試みが発展し
351 てきた(Kéry et al. 2010 ; van Strien et al. 2013)。この手法は、例えば市民科学データを用
352 いてイギリスとアイルランドにおけるトンボ目の昆虫種の在確率変化を定量化するた
353 めや(Powney et al. 2015)、イングランドにおけるハチ類へのネオニコチノイド系農薬の
354 影響を明らかにするために(Woodcock et al. 2016)、日本でも鳥類の空間分布を評価する
355 ために(Higa et al. 2015)用いられている。Occupancy model は統計ソフトウェア R で実装
356 するためのパッケージも開発されている(Fiske et al. 2015 ; SPARTA:
357 <https://github.com/BiologicalRecordsCentre/sparta>)。また同様に、観察者による生物の発見
358 過程を考慮したモデリングによって、種の在不在データから個体数(Royle and Nichols
359 2003)や群集動態(Yamaura et al. 2011)を推定することも可能となる。系統的な調査に基づ
360 いていない生物の在不在データは今後益々増加することが見込まれるため、そこから有

361 用な科学的知見を得るためにこれらのモデリング手法は重要な役割を果たすであろう。

362 また、様々な情報をモデリングによって組み合わせることで、情報の少ない状況でも

363 科学的知見を得ることが可能となる。一例として、種の絶滅リスクは生態的・形態的な

364 特性や空間分布、系統関係など様々な要因と関係があることが知られている(Purvis et al.

365 2000 ; Fisher and Owens 2004)。そのため、情報が豊富な種の絶滅リスクとこれらの要

366 因との関係を用いることで、情報が欠如している種の絶滅リスクを推定することが可能

367 となる。例えば、哺乳類では多くの種で特性や空間分布、系統関係などが明らかになっ

368 ているものの(Jones et al. 2009)、約 15%の種は絶滅リスクを評価するための情報が不足

369 している(図 4 : IUCN 2015)。そこで、分布域サイズ、体サイズ、人類活動による脅威レ

370 ベルなどの変数及び種間の空間的・系統的類似性を用いて各種の絶滅リスクをモデル化

371 することで、情報が不足している種の絶滅リスクを定量化することに成功している

372 (Bland et al. 2015 ; Jetz and Freckleton 2015)。同様に種特性などから情報が欠如している

373 種の絶滅リスクを評価する試みは、両生類(Ribeiro et al. 2016)、爬虫類(Bland and Böhm

374 in press)、魚類(Luiz et al. in press)などでも行われている。

375 複数の情報を組み合わせるモデリング手法として、複数種の動態をまとめてモデル化す

376 る joint modelling の枠組みは大きな可能性を秘めているだろう(Warton et al. 2015)。例え

377 ば、種特性の利用は気候変動などの脅威に対する生物種の反応を理解するために有効だ

378 と考えられているが(Estrada et al. 2016 ; Madin et al. 2016)、joint modelling の枠組みを用

379 いることで、各種の環境要因に対する反応が種特性で説明されることを明示的に前提す

380 るモデルを構築し、種ごとに個別のモデルを構築するよりも予測を改善することができ

381 るだろう(Warton et al. 2015)。Joint modelling は複数種の出現パターンの類似性をモデル
382 化することで、他種の存在から特定の（特に情報の少ない）種の存在を効果的に推定す
383 るためにも有効である(Ovaskainen et al. 2015 ; Warton et al. 2015)。

384

385 研究—実務間の橋渡し

386 既に紹介した研究—実務間のギャップを埋めていくためには、両者の間に存在する障
387 壁を理解し、取り除いていく努力が必要となる。

388 Sutherland ら(2004)は、科学的知見が保全の現場で活用されていない現実を踏まえ、
389 保全に関して現存する科学的知見を系統的レビューで収集し、データベースとして保全
390 従事者や政策決定者に提供することで、「科学的根拠に基づいた保全 (evidence-based
391 conservation)」を確立する必要性を主張した。Dicks ら(2014)は医学分野の前例に基づい
392 てさらにこの概念を深化させ、科学的知見を保全に関する意思決定で最大限に活用させ
393 るために、「4つのS」という枠組みの利用を提唱している。ここでまず一つ目のSが、
394 個別の研究 (studies) である。これには学術雑誌に出版されている査読付き論文のみな
395 らず、書籍や学位論文、研究機関による報告書なども含まれる。これら個別の研究は科
396 学的知見の基盤となっているものの、保全従事者や政策決定者が無数の研究の中から必
397 要な情報を探して選び出すことは極めて困難である。そこで二つ目のS、系統的レビュ
398 ー (systematic review) によって特定の課題（例えば、人工営巣地の提供が鳥類に及ぼ
399 す影響）について既存の個別研究が提供している情報を集積する必要がある。系統的レ
400 ビューは可能な限り万遍なく情報を集積するように手法が確立されており、既存の科学

401 的知見を集積するための有用なプラットフォームとなる。この系統的レビューをさらに
402 統合し、意思決定者に分かりやすい形で提供するのが三つ目の S、要約 (summaries) で
403 ある。ここでは特定の意思決定に対し、あらゆる解決策に関して得られている科学的知
404 見を提供する (例えば、鳥類の保全のためにどのような対策が有効か)。要約は、保全
405 従事者や政策決定者が迅速に必要な情報を得られるように、専門用語を使わずに簡潔な
406 文章でまとめられる。最後の S、意思決定サポートシステム (decision support systems)
407 は、これらの過程で集積、要約された科学的知見を実際の意思決定に活用する手助けを
408 する。これは非専門家でも使いやすいように視覚的に意思決定を導くソフトウェアの形
409 で提供されることが多い。

410 保全科学の分野で、ここで紹介したような一連の情報集積、要約の過程を実現してい
411 るのが、Conservation Evidence Project (<http://www.conservationevidence.com/>, 2016 年 7 月
412 29 日確認) である。このプロジェクトは、生物多様性保全のためにどのような保全部
413 理策が有効かについて、科学的知見を集め、意思決定に活用させることを目的としてい
414 る。そのため、まず査読付き学術誌 Conservation Evidence
415 (<http://www.conservationevidence.com/collection/view>, 2016 年 7 月 29 日確認) が、様々な
416 保全部管理策の効果を検証した個別研究 (studies) を出版する場を提供している。ここで
417 出版される論文の多くは保全従事者によって書かれたもので、全ての論文はオープンア
418 クセスとして公表されている。Conservation Evidence 誌で発表される論文に加えて、査
419 読付き論文として発表されている既存の個別研究や系統的レビューを収集し、要約して
420 いるのが、同プロジェクトの synopsis と呼ばれる書籍である

421 (<http://www.conservationevidence.com/synopsis/index>, 2016年7月29日確認)。Synopsis
422 はこれまで鳥類、両生類、森林や北ヨーロッパにおける農地生態系の保全、淡水域の侵
423 入種管理、といった幅広い10の課題について、あらゆる保全管理策の効果を検証した
424 個別研究の系統的レビューを行い、その要約をウェブサイトで、また無料でダウンロード
425 可能な書籍として提供している。例えば鳥類の保全を対象とした synopsis では、島嶼
426 域で哺乳類の捕食者を管理する、農地の一部に刈り取りを行わない草地を創出する、と
427 いった455種類の保全管理策について科学的知見をまとめている(Williams et al. 2013)。
428 さらにこれらの synopsis に基づいた意思決定サポートシステムを提供しているのが、
429 What Works in Conservation (Sutherland et al. 2015)という書籍である。ここでは、上記の
430 各 synopsis で集積、要約された科学的知見に基づいて、各保全管理策の効果について、
431 「有益」、「恐らく有益」、「有益と有害両方の報告あり」、「効果不明(証拠不足)」、「恐
432 らく有益ではない」、「恐らく効果なし、もしくは有害」という6段階の評価を専門家が
433 行っている。ここでは synopsis からさらに集約されたメッセージだけが簡潔な形でまと
434 められているため、意思決定者にとって科学的知見を利用する際のハードルを下げてい
435 る。しかしながら、これら一連の情報は全て英語のみで提供されており、非英語圏の保
436 全従事者や政策決定者による活用を促進するためには、該当する言語への翻訳が今後欠
437 かせない取組みとなるであろう。

438 特に研究－政策間のギャップを埋める取組みとしては、英国生態学会が2011年から
439 毎年行っている legislative scan が挙げられる。この取組みは、その年に制定されるであ
440 ろう法律や政策に関する活動の中で、生物多様性保全に対して重要な帰結をもたらす可

441 能性があるものをあらかじめ調べて要約し、広く公表するというものである。例えば
442 2016年には、国際連合による持続可能な開発のための2030アジェンダの発効、欧州連
443 合による政策の一つ、鳥類・生息地保護指令（Birds and Habitats Directives）の効果の評
444 価、英国が欧州連合に残留すべきか否かを問う国民投票などが、重要な政治的イベント
445 として挙げられている(Sutherland et al. 2016)。このような取組みによって、研究者が自
446 らの研究をどのタイミングでどのようにして政策決定に活用させることができるか、事
447 前に理解することが促進される。

448 最後に、科学者が保全活動や政策に直結するような情報を提供しやすくなる仕組みを
449 作っていくことも有効であるだろう。科学者にとって、学術論文を出版することはキャ
450 リア上重要なステップのひとつであるが、今では Science 誌の Policy Forum、Trends in
451 Ecology and Evolution 誌の Science and Society、Conservation Letters 誌の Policy Perspective、
452 Conservation Biology 誌の Conservation Practice and Policy、Journal of Applied Ecology 誌の
453 Practitioner's Perspective など、保全活動や政策に関する原著論文や意見論文を出版する
454 ための場は多く設けられている。こういった論文の出版を促進することに加えて、保全
455 活動や政策に結び付いた研究を、個人、組織、学会などが積極的に評価していく姿勢も
456 重要となるだろう。

457

458 おわりに

459 ここまで議論してきたように、保全科学が直面している情報のギャップは生物多様性
460 の保全を達成するうえで重大な障壁となっている。この問題は既に長年にわたって広く

461 認識されているにも関わらず、能動的に克服しようとする取組みは驚くほど少ない。例
462 えば、生物多様性条約によって制定されてきた生物多様性目標の達成を評価する取組みで
463 は、「得られる情報には空間的・分類群間ギャップがある」という常套句が必ずと言っていいほ
464 ど記述される(Butchart et al. 2010; Tittensor et al. 2014)。全球規模のメタ解析に基づいた保
465 全科学の論文は毎週のように発表されているが、そこで我々が常に目にするのは、用い
466 られたデータのほとんどが欧州と北米に由来していることを示す世界地図である。これ
467 らの取組みのほとんどでは、特定の地域や分類群で情報が欠如していることは単なる言
468 い訳のように言及されるのみで、実際にギャップ解消の取組みが行われることはもちろ
469 んのこと、実用的な解決策が提示されることすら稀である。同様に、研究－実務間のギ
470 ャップと言う問題は 15 年前から明確に認識され(Pullin and Knight 2001)、未だに多くの
471 論文でその重要性が議論されているものの、やはり具体的な解決に向けた取組みは極
472 めて少ない。今後、この情報のギャップという問題にさらに能動的に保全科学者が取り
473 組んでいくことで、科学による生物多様性保全に対する貢献をこれまで以上に向上させ
474 られるのではないかという点が、本稿の主要なメッセージである。

475 本稿で紹介した 3 つのアプローチは、それぞれ相補的な役割を担っている。一次デー
476 タの集積は得られる情報のギャップを克服するための最も直接的なアプローチである
477 が、地球上全ての場所で全ての種のデータを得ることは不可能であるため、それを補う
478 ためにモデリングが必要となる。一方、モデリングを用いた研究成果はしばしば実際の
479 保全活動に直結しないため(Cardillo and Meijaard 2012)、研究－実務間ギャップの橋渡し
480 が重要となる。情報のギャップという問題に対して、これら 3 つのアプローチが果たす

481 役割を明確に理解して活用していくことが、今後必須の取組みとなるであろう。

482 最後に、特に日本人がこの問題解決において果たす役割についても述べておきたい。

483 まず得られる情報のギャップについて、特に日本はアジアにおいて積極的に一時データ

484 の集積、公開、利用を推進していく責任を担っていると言えるだろう。各国で収集され

485 ているデータ数にその国の経済レベルと地理的な位置が重要な役割を果たしているこ

486 とを考えると(Amano and Sutherland 2013)、未だ生物多様性情報が少なく欧米と地理的に

487 離れたアジアにおいて、科学先進国である日本が果たす役割は大きい。今後、自国での

488 調査研究はもちろんのこと、周辺諸国との共同研究を介してアジア全体での生物多様性

489 情報や科学的知見の底上げに貢献していくことが望まれる。その際、日本が誇る高度な

490 技術に基づいたデータ収集や、モデリングは有効なアプローチとなるだろう。環境省が

491 資金を提供し、アジア地域で一次データの底上げに取り組んでいる GBIF のプロジェク

492 トはその好例である (<http://www.gbif.org/programme/bifa>, 2016 年 7 月 29 日確認)。一方、

493 保全管理策の結果について科学的知見を発表していくことや、人間社会を含めて保全生

494 態学を推進していくことの必要性は、日本においても 2000 年代初頭から主張されてき

495 た(松田 2003, 湯本 2006)。それから 10 年以上が経過した今、生物多様性保全に関わる

496 日本の科学者は再度科学が果たす役割について熟考し、科学と保全の間に横たわる情報

497 のギャップという障壁により能動的に取り組んでいく必要があるだろう。本稿でまとめ

498 た情報がそのための一助となれば幸いである。

499

500

謝 辞

501 本稿は、日本生態学会第 63 回大会で開催されたシンポジウム「保全科学が挑む情報のギ
502 ャップ」での著者の講演に基づいている。講演及び本稿をまとめるにあたり、シンポジウムの共
503 同企画者である大澤剛士氏、赤坂宗光氏、シンポジウムの演者である石濱史子氏、大澤隆文
504 氏、高川晋一氏らとの議論は極めて有意義なものであった。著者の研究は European
505 Commission による Marie Curie International Incoming Fellowship Programme
506 (PIIF-GA-2011-303221)及び Isaac Newton Trust による支援を受けている。

507

508

引用文献

- 509 Adams WM, Sandbrook C (2013) Conservation, evidence and policy. *Oryx*, 47:329-335
- 510 Ahumada JA, Silva CEF, Gajapersad K, Hallam C, Hurtado J, Martin E, McWilliam A,
511 Mugerwa B, Brien T, Rovero F, Sheil D, Spironello WR, Winarni N, Andelman SJ (2011)
512 Community structure and diversity of tropical forest mammals: Data from a global camera trap
513 network. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*,
514 366:2703-2711
- 515 Amano T, Sutherland WJ (2013) Four barriers to the global understanding of biodiversity
516 conservation: Wealth, language, geographical location and security. *Proceedings of the Royal
517 Society B: Biological Sciences*, 280:20122649
- 518 Amano T, Lamming JDL, Sutherland WJ (2016) Spatial gaps in global biodiversity information
519 and the role of citizen science. *BioScience*, 66:393-400

520 Amano T, Smithers RJ, Sparks TH, Sutherland WJ (2010) A 250-year index of first flowering
521 dates and its response to temperature changes. *Proceedings of the Royal Society B-Biological*
522 *Sciences*, 277:2451-2457

523 Barve V (2014) Discovering and developing primary biodiversity data from social networking
524 sites: A novel approach. *Ecological Informatics*, 24:194-199

525 BirdLife International (2014) “The BirdLife checklist of the birds of the world: Version 7”
526 [http://www.birdlife.org/datazone/userfiles/file/Species/Taxonomy/BirdLife_Checklist_Version_](http://www.birdlife.org/datazone/userfiles/file/Species/Taxonomy/BirdLife_Checklist_Version_70.zip)
527 [70.zip](http://www.birdlife.org/datazone/userfiles/file/Species/Taxonomy/BirdLife_Checklist_Version_70.zip), 2016 年 8 月 26 日確認.

528 Bland LM, Böhm M (in press) Overcoming data deficiency in reptiles. *Biological*
529 *Conservation*

530 Bland LM, Collen BEN, Orme CDL, Bielby JON (2015) Predicting the conservation status of
531 data-deficient species. *Conservation Biology*, 29:250-259

532 Bled F, Sauer J, Pardieck K, Doherty P, Royle JA (2013) Modeling trends from North American
533 Breeding Bird Survey data: A spatially explicit approach. *PLOS ONE*, 8:e81867

534 Bortolus A (2012) Running like Alice and losing good ideas: On the quasi-compulsive use of
535 English by non-native English speaking scientists. *AMBIO*, 41:769-772

536 Bourne FJ, Donnelly CA, Cox DR, Gettinby G, McInerney J, Morrison I, Woodroffe R (2007)

537 “Bovine TB: The scientific evidence. Final report of the independent scientific group on cattle
538 TB”
539 [http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20090330154646/www.defra.gov.uk/animalh/tb/isg/p](http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20090330154646/www.defra.gov.uk/animalh/tb/isg/pdf/final_report.pdf)
540 [df/final_report.pdf](http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20090330154646/www.defra.gov.uk/animalh/tb/isg/pdf/final_report.pdf), 2016年8月26日確認。

541 Burgman MA (2001) Flaws in subjective assessments of ecological risks and means for
542 correcting them. *Australian Journal of Environmental Management*, 8:219-226

543 Burgman MA, McBride M, Ashton R, Speirs-Bridge A, Flander L, Wintle B, Fidler F, Rumpff L,
544 Twardy C (2011) Expert status and performance. *PLOS ONE*, 6:e22998

545 Butchart SHM, Walpole M, Collen B, van Strien A, Scharlemann JPW, Almond REA, Baillie
546 JEM, Bomhard B, Brown C, Bruno J, Carpenter KE, Carr GM, Chanson J, Chenery AM, Csirke
547 J, Davidson NC, Dentener F, Foster M, Galli A, Galloway JN, Genovesi P, Gregory RD,
548 Hockings M, Kapos V, Lamarque J-F, Leverington F, Loh J, McGeoch MA, McRae L,
549 Minasyan A, Morcillo MH, Oldfield TEE, Pauly D, Quader S, Revenga C, Sauer JR, Skolnik B,
550 Spear D, Stanwell-Smith D, Stuart SN, Symes A, Tierney M, Tyrrell TD, Vie J-C, Watson R
551 (2010) Global biodiversity: Indicators of recent declines. *Science*, 328:1164-1168

552 Cardillo M, Meijaard E (2012) Are comparative studies of extinction risk useful for
553 conservation? *Trends in Ecology and Evolution*, 27:167-171

554 Collen B, Ram M, Zamin T, McRae L (2008) The tropical biodiversity data gap: Addressing

555 disparity in global monitoring. *Tropical Conservation Science*, 1:75-88

556 Cook CN, Hockings M, Carter RW (2010) Conservation in the dark? The information used to
557 support management decisions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8:181-186

558 Dennis RLH, Thomas CD (2000) Bias in butterfly distribution maps: The influence of hot spots
559 and recorder's home range. *Journal of Insect Conservation*, 4:73-77

560 Department for Environment Food and Rural Affairs (2011) "Total cost of the Randomised
561 Badger Culling Trial"
562 https://www.whatdotheyknow.com/request/total_cost_of_the_randomised_bad, 2016 年 8 月 26
563 日確認.

564 Department for Environment Food and Rural Affairs (2015) "Summary of badger control
565 monitoring during 2015"
566 [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/486604/summary
567 -badger-control-monitoring-2015.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/486604/summary_badger_control_monitoring_2015.pdf), 2016 年 8 月 26 日確認.

568 Dickinson JL, Shirk J, Bonter D, Bonney R, Crain RL, Martin J, Phillips T, Purcell K (2012)
569 The current state of citizen science as a tool for ecological research and public engagement.
570 *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10:291-297

571 Dicks LV, Walsh JC, Sutherland WJ (2014) Organising evidence for environmental management
572 decisions: A '4S' hierarchy. *Trends in Ecology and Evolution*, 29:607-613

573 Doi H, Takahara T (2016) Global patterns of conservation research importance in different
574 countries of the world. *PeerJ*, 4:e2173

575 Donnelly CA, Woodroffe R, Cox DR, Bourne FJ, Cheeseman CL, Clifton-Hadley RS, Wei G,
576 Gettinby G, Gilks P, Jenkins H, Johnston WT, Le Fevre AM, McInerney JP, Morrison WI (2006)
577 Positive and negative effects of widespread badger culling on tuberculosis in cattle. *Nature*,
578 439:843-846

579 Estrada A, Morales-Castilla I, Caplat P, Early R (2016) Usefulness of species traits in predicting
580 range shifts. *Trends in Ecology and Evolution*, 31:190-203

581 Fisher DO, Owens IPF (2004) The comparative method in conservation biology. *Trends in*
582 *Ecology and Evolution*, 19:391-398

583 Fiske I, Chandler R, Miller D, Royle A, Kery M, Hootetler J, Hutchinson R (2015) “unmarked:
584 Models for Data from Unmarked Animals”
585 <https://cran.r-project.org/web/packages/unmarked/index.html>, 2016 年 8 月 26 日 確認.

586 Gaiji S, Chavan V, Ariño AH, Otegui J, Hobern D, Sood R, Robles E (2013) Content assessment
587 of the primary biodiversity data published through GBIF network: Status, challenges and
588 potentials. *Biodiversity Informatics*, 8:94-172

589 Gardner JL, Amano T, Sutherland WJ, Joseph L, Peters A (2014) Are natural history collections
590 coming to an end as time-series? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12:436-438

591 Godfray HCJ, Donnelly CA, Kao RR, Macdonald DW, McDonald RA, Petrokofsky G, Wood
592 JLN, Woodroffe R, Young DB, McLean AR (2013) A restatement of the natural science
593 evidence base relevant to the control of bovine tuberculosis in Great Britain. Proceedings of the
594 Royal Society B: Biological Sciences, 280:20131634

595 González-Suárez M, Lucas PM, Revilla E (2012) Biases in comparative analyses of extinction
596 risk: Mind the gap. Journal of Animal Ecology, 81:1211-1222

597 Guisan A, Zimmermann NE, Elith J, Graham CH, Phillips S, Peterson AT (2007) What matters
598 for predicting the occurrences of trees: Techniques, data, or species' characteristics? Ecological
599 Monographs, 77:615-630

600 Higa M, Yamaura Y, Koizumi I, Yabuhara Y, Senzaki M, Ono S (2015) Mapping large-scale bird
601 distributions using occupancy models and citizen data with spatially biased sampling effort.
602 Diversity and Distributions, 21:46-54

603 Hobern D, Apostolico A, Arnaud E, Bello JC, Canhos D, Dubois G, Field D, Alonso Garcia E,
604 Hardisty A, Harrison J, Heidorn B, Krishtalka L, Mata E, Page R, Parr C, Price J, Willoughby S
605 (2013) Global Biodiversity Informatics Outlook: Delivering Biodiversity Knowledge in the
606 Information Age. Global Biodiversity Information Facility (Secretariat), Copenhagen

607 Holden MH, Ellner SP (2016) Human judgment vs. quantitative models for the management of
608 ecological resources. Ecological Applications, 26:1553-1565

609 Hopkins GW, Freckleton RP (2002) Declines in the numbers of amateur and professional
610 taxonomists: Implications for conservation. *Animal Conservation*, 5:245-249

611 Isaac NJB, van Strien AJ, August TA, de Zeeuw MP, Roy DB (2014) Statistics for citizen
612 science: Extracting signals of change from noisy ecological data. *Methods in Ecology and*
613 *Evolution*, 5:1052-1060

614 IUCN (2015) “The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2015.2”
615 <http://www.iucnredlist.org>, 2016 年 8 月 26 日確認.

616 Jetz W, Freckleton RP (2015) Toward a general framework for predicting threat status of
617 data-deficient species from phylogenetic, spatial and environmental information. *Philosophical*
618 *Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 370:20140016

619 Jones KE, Bielby J, Cardillo M, Fritz SA, O'Dell J, Orme CDL, Safi K, Sechrest W, Boakes EH,
620 Carbone C, Connolly C, Cutts MJ, Foster JK, Grenyer R, Habib M, Plaster CA, Price SA, Rigby
621 EA, Rist J, Teacher A, Bininda-Emonds ORP, Gittleman JL, Mace GM, Purvis A, Michener WK
622 (2009) PanTHERIA: A species-level database of life history, ecology, and geography of extant
623 and recently extinct mammals. *Ecology*, 90:2648-2648

624 Joppa LN, O'Connor B, Visconti P, Smith C, Geldmann J, Hoffmann M, Watson JEM, Butchart
625 SHM, Virah-Sawmy M, Halpern BS, Ahmed SE, Balmford A, Sutherland WJ, Harfoot M,
626 Hilton-Taylor C, Foden W, Minin ED, Pagad S, Genovesi P, Hutton J, Burgess ND (2016)

627 Filling in biodiversity threat gaps. *Science*, 352:416-418

628 Kéry M, Royle JA, Schmid H, Schaub M, Volet B, Hafliger G, Zbinden N (2010)

629 Site-occupancy distribution modeling to correct population-trend estimates derived from

630 opportunistic observations. *Conservation Biology*, 24:1388-1397

631 Kareiva P, Marvier M (2012) What is conservation science? *BioScience*, 62:962-969

632 Knight AT, Cowling RM, Rouget M, Balmford A, Lombard AT, Campbell BM (2008) Knowing

633 but not doing: Selecting priority conservation areas and the research–implementation gap.

634 *Conservation Biology*, 22:610-617

635 Kobori H, Dickinson JL, Washitani I, Sakurai R, Amano T, Komatsu N, Kitamura W, Takagawa

636 S, Koyama K, Ogawara T, Miller-Rushing AJ (2016) Citizen science: A new approach to

637 advance ecology, education, and conservation. *Ecological Research*, 31:1-19

638 Lawton JH (2007) Ecology, politics and policy. *Journal of Applied Ecology*, 44:465-474

639 Luiz OJ, Woods RM, Madin EMP, Madin JS (in press) Predicting IUCN extinction risk

640 categories for the world's data deficient groupers (Teleostei: Epinephelidae). *Conservation*

641 *Letters*

642 Mace GM (2014) Whose conservation? *Science*, 345:1558-1560

643 MacKenzie DI, Nichols JD, Lachman GB, Droege S, Andrew Royle J, Langtimm CA (2002)

644 Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology*,
645 83:2248-2255

646 Madin JS, Hoogenboom MO, Connolly SR, Darling ES, Falster DS, Huang D, Keith SA,
647 Mizerek T, Pandolfi JM, Putnam HM, Baird AH (2016) A trait-based approach to advance coral
648 reef science. *Trends in Ecology and Evolution*, 31:419-428

649 Margules CR, Pressey RL (2000) Systematic conservation planning. *Nature*, 405:243-253

650 Martin LJ, Blossey B, Ellis E (2012) Mapping where ecologists work: Biases in the global
651 distribution of terrestrial ecological observations. *Frontiers in Ecology and the Environment*,
652 10:195-201

653 Massimino D, Johnston A, Noble DG, Pearce-Higgins JW (2015) Multi-species
654 spatially-explicit indicators reveal spatially structured trends in bird communities. *Ecological
655 Indicators*, 58:277-285

656 松葉 史紗子, 赤坂 宗光, 宮下 直 (2015) Marxan による効率的な保全計画: その原理と
657 適用事例. *保全生態学研究*, 20:35-47

658 松田 裕之 (2003) 「保全生態学研究」の役割と編集方針について. *保全生態学研究*, 8:1-2

659 Matzek V, Covino J, Funk JL, Saunders M (2014) Closing the knowing–doing gap in invasive
660 plant management: Accessibility and interdisciplinarity of scientific research. *Conservation*

661 Letters, 7:208-215

662 McCarthy MA, Keith D, Tietjen J, Burgman MA, Maunder M, Master L, Brook BW, Mace G,
663 Possingham HP, Medellin R, Andelman S, Regan H, Regan T, Ruckelshaus M (2004)
664 Comparing predictions of extinction risk using models and subjective judgement. *Acta*
665 *Oecologica*, 26:67-74

666 Meiri S, Chapple DG (in press) Biases in the current knowledge of threat status in lizards, and
667 bridging the 'assessment gap'. *Biological Conservation*

668 Mellinger DK, Stafford KM, Moore S, Dziak RP, Matsumoto H (2007) Fixed passive acoustic
669 observation methods for cetaceans. *Oceanography*, 20:36-45

670 Meyer C, Weigelt P, Kreft H (2016) Multidimensional biases, gaps and uncertainties in global
671 plant occurrence information. *Ecology Letters*, 19:992-1006

672 Meyer C, Kreft H, Guralnick R, Jetz W (2015) Global priorities for an effective information
673 basis of biodiversity distributions. *Nature Communications*, 6:8221

674 宮崎 佑介 (2016) 市民科学と生物多様性情報データベースの関わり. *日本生態学会誌*,
675 66:237-246

676 Mora C, Tittensor DP, Adl S, Simpson AGB, Worm B (2012) How many species are there on
677 Earth and in the ocean? *PLOS Biology*, 9:e1001127

678 Nadachowska-Brzyska K, Li C, Smeds L, Zhang G, Ellegren H (2015) Temporal dynamics of
679 avian populations during Pleistocene revealed by whole-genome sequences. *Current Biology*,
680 25:1375-1380

681 National Biodiversity Data Centre (2010) Ireland's Biodiversity in 2010: Knowledge Gaps.
682 National Biodiversity Data Centre, Waterford

683 Nature Editorial Office (2007) In for the cull. *Nature*, 450:1-2

684 O'Connor B, Secades C, Penner J, Sonnenschein R, Skidmore A, Burgess ND, Hutton JM
685 (2016) Earth observation as a tool for tracking progress towards the Aichi Biodiversity Targets.
686 *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 1:19-28

687 大澤 剛士, 神保 宇嗣, 岩崎 亘典 (2014) 「オープンデータ」という考え方と、生物多
688 様性分野への適用に向けた課題. *日本生態学会誌*, 64:153-162

689 Ovaskainen O, Abrego N, Halme P, Dunson D (2015) Using latent variable models to identify
690 large networks of species-to-species associations at different spatial scales. *Methods in Ecology*
691 *and Evolution*, 7:549-555

692 Pearce-Higgins JW, Ockendon N, Baker DJ, Carr J, White EC, Almond REA, Amano T,
693 Bertram E, Bradbury RB, Bradley C, Butchart SHM, Doswald N, Foden W, Gill DJC, Green RE,
694 Sutherland WJ, Tanner EVJ (2015) Geographical variation in species' population responses to
695 changes in temperature and precipitation. *Proceedings of the Royal Society of London B*:

696 Biological Sciences, 282:20151561

697 Pereira HM, Navarro LM, Martins IS (2012) Global biodiversity change: The bad, the good, and
698 the unknown. *Annual Review of Environment and Resources*, 37:25-50

699 Powney GD, Cham SSA, Smallshire D, Isaac NJB (2015) Trait correlates of distribution trends
700 in the Odonata of Britain and Ireland. *PeerJ*, 3:e1410

701 Prather LA, Alvarez-Fuentes O, Mayfield MH, Ferguson CJ (2004) The decline of plant
702 collecting in the United States: A threat to the infrastructure of biodiversity studies. *Systematic
703 Botany*, 29:15-28

704 Pullin AS, Knight TM (2001) Effectiveness in conservation practice: Pointers from medicine
705 and public health. *Conservation Biology*, 15:50-54

706 Pullin AS, Knight TM, Stone DA, Charman K (2004) Do conservation managers use scientific
707 evidence to support their decision-making? *Biological Conservation*, 119:245-252

708 Purvis A, Agapow PM, Gittleman JL, Mace GM (2000) Nonrandom extinction and the loss of
709 evolutionary history. *Science*, 288:328-330

710 Ribeiro J, Colli GR, Caldwell JP, Soares AMVM (2016) An integrated trait-based framework to
711 predict extinction risk and guide conservation planning in biodiversity hotspots. *Biological
712 Conservation*, 195:214-223

713 Riede K (1998) Acoustic monitoring of Orthoptera and its potential for conservation. *Journal of*
714 *Insect Conservation*, 2:217-223

715 Robinson BS, Inger R, Crowley SL, Gaston KJ (in press) Weeds on the web: Conflicting
716 management advice about an invasive non-native plant. *Journal of Applied Ecology*

717 Royle JA, Nichols JD (2003) Estimating abundance from repeated presence-absence data or
718 point counts. *Ecology*, 84:777-790

719 Segan DB, Bottrill MC, Baxter PWJ, Possingham HP (2010) Using conservation evidence to
720 guide management. *Conservation Biology*, 25:200-202

721 Silvertown J, Harvey M, Greenwood R, Dodd M, Rosewell J, Rebelo T, Ansine J, McConway K
722 (2015) Crowdsourcing the identification of organisms: A case-study of iSpot. *ZooKeys*,
723 480:125-146

724 Soulé ME (1985) What is conservation biology? *BioScience*, 35:727-734

725 Stropp J, Ladle RJ, M. Malhado AC, Hortal J, Gaffuri J, H. Temperley W, Olav Skøien J,
726 Mayaux P (2016) Mapping ignorance: 300 years of collecting flowering plants in Africa. *Global*
727 *Ecology and Biogeography*, 25:1085-1096

728 Sullivan BL, Aycrigg JL, Barry JH, Bonney RE, Bruns N, Cooper CB, Damoulas T, Dhondt AA,
729 Dietterich T, Farnsworth A, Fink D, Fitzpatrick JW, Fredericks T, Gerbracht J, Gomes C,

730 Hochachka WM, Iiff MJ, Lagoze C, La Sorte FA, Merrifield M, Morris W, Phillips TB,
731 Reynolds M, Rodewald AD, Rosenberg KV, Trautmann NM, Wiggins A, Winkler DW, Wong
732 W-K, Wood CL, Yu J, Kelling S (2014) The eBird enterprise: An integrated approach to
733 development and application of citizen science. *Biological Conservation*, 169:31-40

734 Sutherland WJ, Watkinson AR (2001) Policy making within ecological uncertainty: Lessons
735 from badgers and GM crops. *Trends in Ecology and Evolution*, 16:261-263

736 Sutherland WJ, Pullin AS, Dolman PM, Knight TM (2004) The need for evidence-based
737 conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 19:305-308

738 Sutherland WJ, Dicks LV, Ockendon N, Smith RK (eds) (2015) *What Works in Conservation*.
739 Open Book Publishers, Cambridge

740 Sutherland WJ, Burke E, Connor B, Martin J, McNamee P, Mitchell C, Monk KA, Bieberstein
741 KRv, Thompson DBA (2016) What are the forthcoming legislative issues of interest to
742 ecologists and conservationists in 2016? *British Ecological Society Bulletin*, 47:45-54

743 Thomsen PF, Willerslev E (2015) Environmental DNA - an emerging tool in conservation for
744 monitoring past and present biodiversity. *Biological Conservation*, 183:4-18

745 Tittensor DP, Walpole M, Hill SLL, Boyce DG, Britten GL, Burgess ND, Butchart SHM,
746 Leadley PW, Regan EC, Alkemade R, Baumung R, Bellard C, Bouwman L, Bowles-Newark NJ,
747 Chenery AM, Cheung WWL, Christensen V, Cooper HD, Crowther AR, Dixon MJR, Galli A,

748 Gaveau V, Gregory RD, Gutierrez NL, Hirsch TL, Höft R, Januchowski-Hartley SR, Karmann
749 M, Krug CB, Leverington FJ, Loh J, Lojenga RK, Malsch K, Marques A, Morgan DHW,
750 Mumby PJ, Newbold T, Noonan-Mooney K, Pagad SN, Parks BC, Pereira HM, Robertson T,
751 Rondinini C, Santini L, Scharlemann JPW, Schindler S, Sumaila UR, Teh LSL, van Kolck J,
752 Visconti P, Ye Y (2014) A mid-term analysis of progress toward international biodiversity targets.
753 Science, 346:241-244

754 van Strien AJ, van Swaay CAM, Termaat T (2013) Opportunistic citizen science data of animal
755 species produce reliable estimates of distribution trends if analysed with occupancy models.
756 Journal of Applied Ecology, 50:1450-1458

757 Walters CL, Freeman R, Collen A, Dietz C, Brock Fenton M, Jones G, Obrist MK, Puechmaille
758 SJ, Sattler T, Siemers BM, Parsons S, Jones KE (2012) A continental-scale tool for acoustic
759 identification of European bats. Journal of Applied Ecology, 49:1064-1074

760 Walton DWH, Gray AJ (1991) Ecology and government policies. Trends in Ecology and
761 Evolution, 6:144-145

762 Warton DI, Blanchet FG, O'Hara RB, Ovaskainen O, Taskinen S, Walker SC, Hui FKC (2015)
763 So many variables: Joint modeling in community ecology. Trends in Ecology and Evolution,
764 30:766-779

765 Williams DR, Pople RG, Showler DA, Dicks LV, Child MF, zu Ermgassen EKJ, Sutherland

766 WJ (2013) Bird conservation: Global evidence for the effects of interventions. Pelagic
767 Publishing, Exeter

768 Wood C, Sullivan B, Iliff M, Fink D, Kelling S (2011) eBird: Engaging birders in science and
769 conservation. PLOS Biology, 9:e1001220

770 Woodcock BA, Isaac NJB, Bullock JM, Roy DB, Garthwaite DG, Crowe A, Pywell RF (2016)
771 Impacts of neonicotinoid use on long-term population changes in wild bees in England. Nature
772 Communications, 7:12459

773 WWF (2014) Living Planet Report 2014: Species and spaces, people and places. WWF, Gland

774 Yamaura Y, Royle JA, Kuboi K, Tada T, Ikeno S, Makino S (2011) Modelling community
775 dynamics based on species-level abundance models from detection/nondetection data. Journal
776 of Applied Ecology, 48:67-75

777 湯本 貴和 (2006) 保全生態学に求められているもの: 「保全生態学研究」の新編集委員
778 長としての抱負. 保全生態学研究, 11:1-3

779 Zhao S, Zheng P, Dong S, Zhan X, Wu Q, Guo X, Hu Y, He W, Zhang S, Fan W, Zhu L, Li D,
780 Zhang X, Chen Q, Zhang H, Zhang Z, Jin X, Zhang J, Yang H, Wang J, Wang J, Wei F (2013)
781 Whole-genome sequencing of giant pandas provides insights into demographic history and local
782 adaptation. Nature Genetics, 45:67-71

783

784 表1 Lawton (2007)が挙げる科学が環境保全政策に直結しない11の理由。

-
1. 科学者がメッセージを明確に伝えない
 2. 科学的情報が多すぎて、政策決定者が適切な情報を選択できない
 3. 科学には不確実性や変動性が付随するため、政策決定者に明確な解を示せない
 4. 科学者による提案に対して、必ずしも市民による賛同が得られない
 5. 政策決定にはコストなど他の様々な制限要因が影響する
 6. 政策決定者が短期的な解を求めるのに対して、科学者は複雑で長期的なアドバイスを行う
 7. 政策決定者が、科学者による提案と他の利益団体（産業界など）による要求との板挟みになる
 8. 政府内部で統一見解が得られない
 9. 国際的な同意が得られないと政策決定・施行が進まない
 10. 科学的アドバイスはしばしば政界に定着している信念や独断的な考えを考慮しない
 11. 腐敗して金儲けに走る政治家が存在する
-

785

786

787 図の説明

788

789 図1 科学が生物多様性の保全に貢献する際に用いられる情報利用の過程。

790

791 図2 生物多様性に関する国際的なデータベースに収録されているデータ件数 (km^{-1})

792 の国別分布：(a) 地球規模生物多様性情報 (GBIF：生物種の在データ)、(b) Global

793 Population Dynamics Database (GPDD：個体群動態データ)、(c) MoveBank (個体の移動デ

794 ータ)、(d) European Union for Bird Ranging Databank (EDB：鳥類の標識再捕獲データ)。

795 Amano and Sutherland (2013) より。

796

797 図3 UK Phenology Network (www.naturescalendar.org.uk)によって集積された植物の開花

798 時期データの空間分布。灰色の点は Amano et al. (2010) で用いた全データの分布を示す。

799 黒い四角は人口の多い主要5都市：南からロンドン、バーミンガム、マンチェスター、

800 リーズ、グラスゴー。

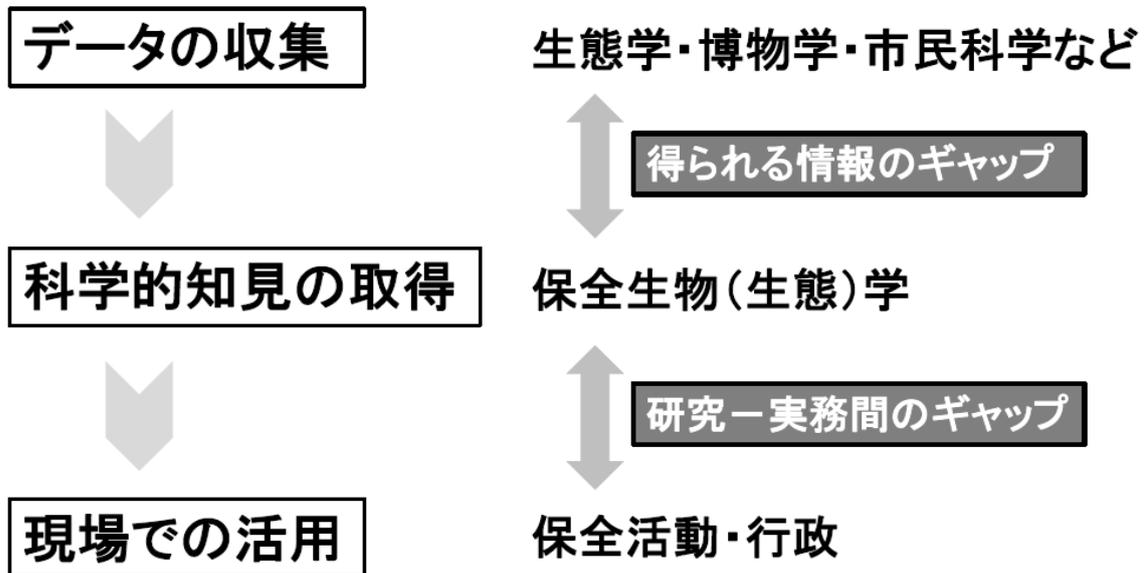
801

802 図4 国際自然保護連合 (IUCN) によるレッドリストにおいて「情報不足 (Data

803 Deficient)」と評価されている種の分類群別割合。

804

図1 天野



805

806

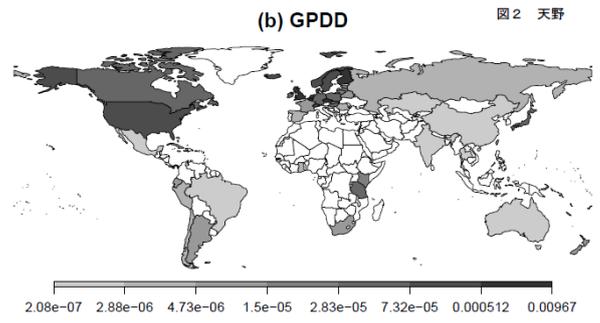
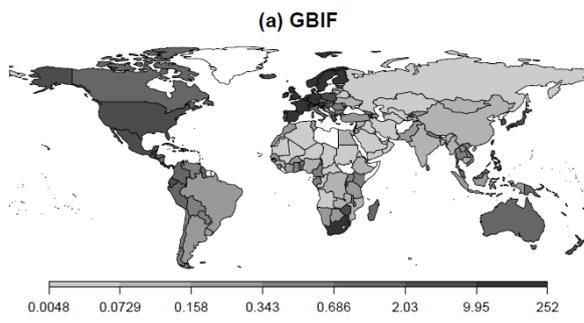
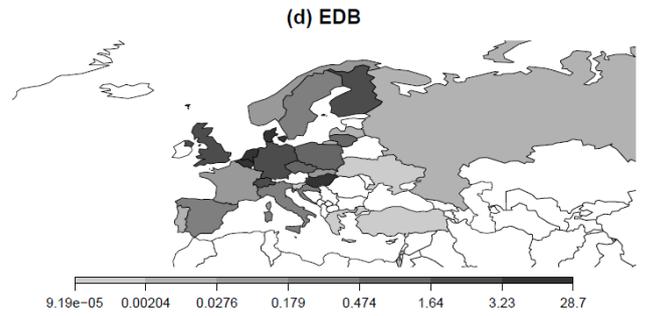
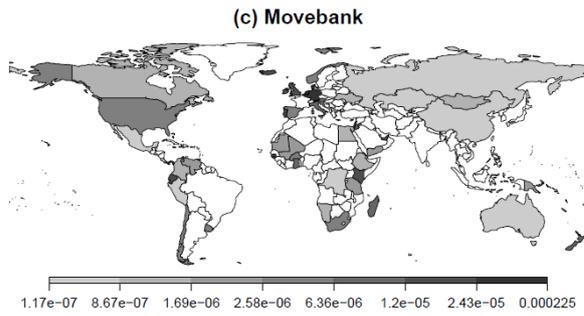


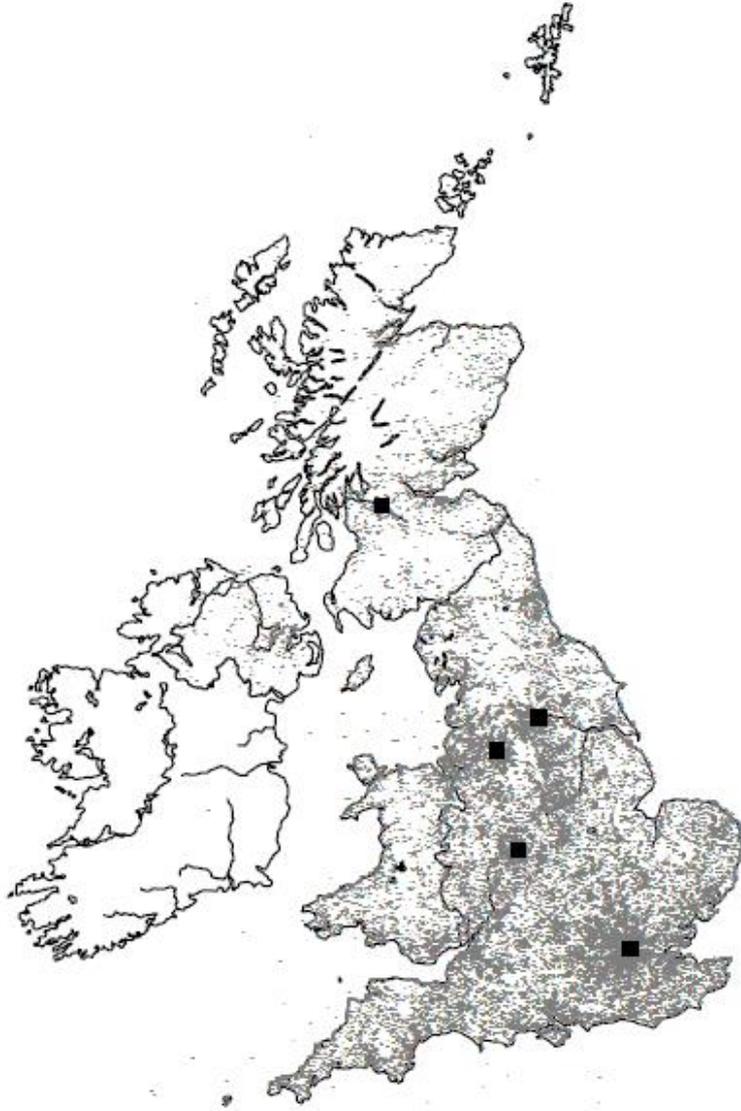
図2 天野



807

808

図3 天野



809

810

図4 天野

レッドリストにおける「データ不足(DD)」種の割合

