

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04337

研究課題名（和文）深層学習とビッグデータを用いた環境価値評価手法の開発

研究課題名（英文）Non-market valuation method using deep learning and big data

研究代表者

栗山 浩一（Kuriyama, Koichi）

京都大学・農学研究科・教授

研究者番号：50261334

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：環境の非利用価値を評価する手法では、環境対策に支払っても構わない金額をたずねることで環境価値の推定を行う。しかし、調査票で用いる写真が回答に影響したり調査時期や調査対象者によって回答が異なる現象（バイアス）が生じる。このため写真が環境価値に及ぼす影響を解明すると同時に特定時期や特定の対象者に限定されない評価方法の開発が課題となっている。本研究では、深層学習とビッグデータを環境価値評価に応用することでバイアスを軽減した新たな環境価値評価手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

第一に、本研究には現実の環境政策・観光政策への貢献がある。本研究は国立公園を対象とした実証研究を行い国立公園政策がもたらす社会的効果を定量的に示すことで現実の環境政策や観光政策に大きく貢献することが期待できる。第二に、本研究は環境経済学と情報学への貢献がある。これまで環境経済学では環境価値評価の研究が進められ情報学では画像認識やビッグデータの研究が進められてきた。本研究は環境経済学と情報学の成果を統合することで新たな学際的アプローチを提案するものであり両分野への学術的貢献が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In the non-market valuation method for the nonuse value, the stated data is required to estimate the value by asking the respondents how much they are willing to pay for environmental policy. However, the responses could be biased where the responses can be influenced by the photographs used in the questionnaire and can vary depending on the survey period. Therefore, it is a challenge to not only clarify the influence of photographs on environmental value but also to develop evaluation methods that are not limited to specific time periods. In this study, we developed a new method for non-market valuation method that reduces biases by applying deep learning and big data.

研究分野：環境経済学

キーワード：環境価値評価 景観 レクリエーション ビッグデータ

### 1. 研究開始当初の背景

環境価値評価とは自然環境の価値を金銭単位で評価する手法のことである。自然環境の多くは価格が存在せず、価値評価が難しい。価格の存在しない自然環境の価値を評価する「環境価値評価」の手法開発が進められてきた。これらの評価手法はアンケート調査により支払意思額を推定する必要があるため、調査票設計やアンケート方法によって評価額が影響を受けて「バイアス」が生じやすいことが知られている。たとえば、国立公園の景観価値を評価する場合、調査票で用いる写真の内容が回答に影響する可能性がある。この影響を分析するためには、回答者の画像認識を分析し、用いた写真がどのように回答に影響するのかを把握する必要がある。

画像認識については、近年、深層学習(deep learning)を用いた分析が進められている。特に畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を何層も重ねた深層学習は、画像の識別能力が人間と同等の水準にまで向上している。

一方、観光客などを対象に現地でアンケート調査を行う場合、調査時期によって回答が変化する可能性がある。調査時期によるバイアスを回避するためには、年間を通して観光客の行動を追跡する必要があるが、海外では Facebook や Instagram などの SNS にアップされた情報を分析することで、観光客の行動を分析する研究が注目されている。SNS を利用することで様々な時期のデータを入手することはできるものの、SNS を利用していない観光客を把握できないため、サンプリングバイアスの問題は依然として残されている。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、深層学習とビッグデータを環境価値評価に応用することで、バイアスを軽減した新たな環境価値評価手法を開発することにある。情報学の分野では深層学習やビッグデータの研究が進められているが、環境価値評価にこれらを活用した研究は極めて少ない。そこで、本研究では、特定期間や特定の利用者に限定されない新たなビッグデータの収集方法として、NTT ドコモの携帯電波情報(モバイル空間統計)を用いる。そして電波情報をアンケート調査のデータと比較することでサンプリングバイアスを補正するための統計手法を開発する。そして、ビッグデータを深層学習で分析することで精度の高い新たな評価手法を開発する。本研究で開発した新たな評価手法を用いて、国内の国立公園を対象に実証研究を行い、今後の新たな環境政策・観光政策への応用可能性について検証する。

### 3. 研究の方法

本研究では携帯電話の電波情報(モバイル空間統計)を活用することで、特定期間・特定利用者に限定されない調査手法の開発を行った。モバイル空間統計は、携帯電話の電波情報を用いることで、対象地域の 500m メッシュ内に何人が滞在しているのかを 1 時間単位で把握できる。また性別、年齢、居住地などの個人属性別の人数も分析できる。そこで、電波情報を用いた場合と従来のアンケート調査を用いた場合と比較することで、サンプリングによる影響を統計的に補正する手法を開発した。

また、本研究は、深層学習を用いて写真画像が景観価値に及ぼす影響を定量的に分析した。これまでの深層学習の研究では、画像が何を意味するのかを分類する画像認識にとどまっており、画像認識が景観の価値形成にどのように影響するかという視点が欠落していた。これに対して、本研究では、深層学習を景観の価値形成の分析に応用した。

### 4. 研究成果

本研究の成果は以下のとおりである。

#### (1) 深層学習を用いた景観分析手法の開発

写真を用いた選択型実験のデータを従来のロジットモデルで分析した場合と深層学習(畳み込みニューラルネットワーク: CNN)で分析した場合と比較した。仮想データを用いた分析では、深層学習により景観価値の評価精度が改善されることが示された(図1)。

ただし、深層学習では多くの学習データが必要であることが判明したため、一枚の画像データから複数の画像を生成するデータ拡張を行う必要が生じた。データ拡張には様々な手法が提案されているが、自動的に最適なデータ拡張方法を探索するものとして自動拡張法(AutoAugment: AA)、敵対的自動拡張法(Adversarial AutoAugment: AdvAA)、不確実性サンプリング法(Uncertainty-Based Sampling: UBS)などが提案されている。本研究では、EM アルゴリズムを利用し、最適なデータ拡張手法を探索する方法(Latent Augment)を開発した。代表的な画像データを対象に画像認識精度を比較したところ、既存

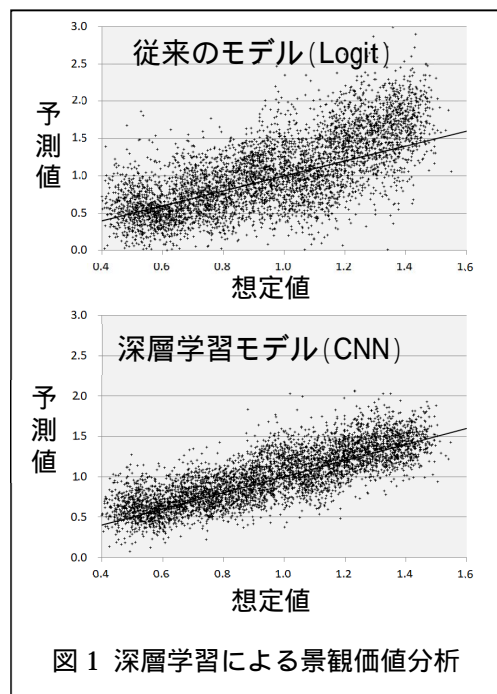


図1 深層学習による景観価値分析

表1 画像認識精度

| Dataset  | Model                   | Baseline | AA    | AdvAA        | UBS   | LA                |
|----------|-------------------------|----------|-------|--------------|-------|-------------------|
| cifar10  | Wide-ResNet-40-2        | 94.70    | 96.30 |              |       | <b>97.27±0.09</b> |
|          | Wide-ResNet-28-10       | 96.13    | 97.32 | 98.10        | 97.89 | <b>98.25±0.08</b> |
|          | Shake-Shake (26 2x32d)  | 96.45    | 97.53 | 97.64        |       | <b>97.68±0.03</b> |
|          | Shake-Shake (26 2x96d)  | 97.14    | 98.01 | 98.15        | 98.27 | <b>98.42±0.02</b> |
|          | Shake-Shake (26 2x112d) | 97.18    | 98.11 | 98.22        |       | <b>98.44±0.02</b> |
|          | PyramidNet+ShakeDrop    | 97.33    | 98.52 | 98.64        | 98.66 | <b>98.72±0.02</b> |
| cifar100 | Wide-ResNet-40-2        | 74.00    | 79.30 |              |       | <b>80.90±0.15</b> |
|          | Wide-ResNet-28-10       | 81.2     | 82.91 | 84.51        | 84.54 | <b>84.98±0.12</b> |
|          | Shake-Shake (26 2x96d)  | 82.95    | 85.72 | <b>85.90</b> |       | 85.88±0.10        |
| SVHN     | Wide-ResNet-28-10       | 98.50    | 98.93 |              |       | <b>98.96±0.01</b> |
| Imagenet | ResNet-50 (Top 1)       | 75.30    | 77.63 | 79.40        |       | <b>80.02±0.10</b> |
|          | ResNet-50 (Top 5)       | 92.20    | 93.82 | 94.47        |       | <b>94.88±0.05</b> |

Note: AA: AutoAugment, AdvAA: Adversarial AutoAugment, UBS: Uncertainty-Based Sampling, LA: LatentAugment.

手法を上回る精度が得られた（表1）。

#### （2）ビッグデータによる訪問者予測手法の開発

携帯電話の電波情報（モバイル空間統計）を用いて国立公園の訪問者数を予測する手法を開発した。予測手法の信頼性を検証するため、富士山の登山者

を対象に訪問者数の分析を行った。富士山では赤外線カウンターにより訪問者数を計測している。そこで、赤外線カウンターの訪問者数をモバイル空間統計で予測するモデルを開発したところ、決定係数が0.729となり、モバイル空間統計を用いることで訪問者数の予測に関して高い精度を実現できることが示された。

#### （3）ビッグデータによる環境価値評価手法の開発

携帯電話の電波情報（モバイル空間統計）を用いて国立公園の訪問価値を評価する手法を開発した。モバイル空間統計では500mメッシュ内の滞在人数データを365日24時間で収集することが可能である。さらに、居住地に関するデータも入手できるため、旅費を計算することが可能であり、旅費と滞在人数の関係からトラベルコスト法により訪問価値を評価することが可能である。本研究では、富士山を対象に訪問者がどの登山道を選択するのかを分析する離散選択モデルを開発し、モバイル空間統計のデータを用いて実証分析を行った。ビッグデータを用いた場合と現地アンケート調査のデータを用いた場合の評価結果を比較したところ、富士山の訪問価値はビッグデータでは訪問一回あたり37,661円であったのに対して、現地アンケート調査では27,053円であり、大きな乖離が見られた。この原因としては、ビッグデータでは365日24時間のデータであるのに対して、現地アンケート調査ではデータ収集時期は数日間の昼間のみに限定されていたことが影響したと考えられる。

#### （4）環境価値評価を用いた政策評価手法の開発

国立公園の訪問行動データを用いて国立公園に関する政策効果を評価する手法を開発した。複数の国立公園の訪問行動を同時に分析する手法として多重離散連続極値(MDCEV)モデルに着目した。国立公園の訪問行動には予算制約だけでなく、時間制約が影響することが考えられる。たとえば、ゴールデンウィークやお盆などの長期休暇の時期に訪問者が増加する傾向があり、長期休暇と通常の週末では訪問行動が異なることが予想される。そこで、MDCEVモデルに予算制約と時間制約を追加したモデルを開発した。全国の国立公園を対象に実証分析を行ったところ、週末の時間価値が1時間当たり2,062円に対して長期休暇の時間価値は1,054円と大きく異なっており、時間制約の影響が大きいことが示された。また、富士箱根伊豆国立公園が閉鎖されたときの影響を分析したところ、従来のMDCEVモデルでは一人当たりの損失額は3,597円であるのに対して、時間制約を考慮した拡張MDCEVモデルでは損失額は13,282円となり、国立公園政策の評価においては、本研究で開発した時間制約を考慮したモデルを用いることが重要であることが示された（表2）。

表 2 政策評価結果

| 政策シナリオ        | model 1   | model 2   | model 3  | model 4  |
|---------------|-----------|-----------|----------|----------|
|               | SC-MDCEV1 | SC-MDCEV2 | DC-MDCEV | TC-MDCEV |
| 富士箱根伊豆国立公園の閉鎖 | -3,597    | -3,645    | -11,211  | -13,282  |

Model 1: 標準モデル (予算制約のみ)

Model 2: 分散不均一モデル (予算制約のみ)

Model 3: 二重制約モデル (予算制約 + 時間制約)

Model 4: 三重制約モデル (予算制約 + 長期休暇時間制約 + 週末時間制約)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Kabaya Kei, Kuriyama Koichi   | 4. 巻<br>97                    |
| 2. 論文標題<br>Discrete and Continuous Preference Heterogeneity in a Kuhn-Tucker Model: Beach Recreational Demand   | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Land Economics  | 6. 最初と最後の頁<br>548 ~ 561       |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3368/wple.97.3.021120-0016R1   | 査読の有無<br>無                    |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Kim Hyerin, Shoji Yasushi, Tsuge Takahiro, Aikoh Tetsuya, Kuriyama Koichi   | 4. 巻<br>65                    |
| 2. 論文標題<br>Understanding recreation demands and visitor characteristics of urban green spaces: A use of the zero-inflated negative binomial model               | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Urban Forestry and Urban Greening   | 6. 最初と最後の頁<br>127332 ~ 127332 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.ufug.2021.127332  | 査読の有無<br>無                    |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Shoji Yasushi, Kim Hyerin, Kubo Takahiro, Tsuge Takahiro, Aikoh Tetsuya, Kuriyama Koichi  | 4. 巻<br>60                    |
| 2. 論文標題<br>Understanding preferences for pricing policies in Japan's national parks using the best/worst scaling method   | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Journal for Nature Conservation   | 6. 最初と最後の頁<br>125954 ~ 125954 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.jnc.2021.125954   | 査読の有無<br>無                    |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Kuriyama Koichi, Shoji Yasushi, Tsuge Takahiro  | 4. 巻<br>37                    |
| 2. 論文標題<br>The value of leisure time of weekends and long holidays: The multiple discrete/continuous extreme value (MDCEV) choice model with triple constraints | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Choice Modelling   | 6. 最初と最後の頁<br>100238 ~ 100238 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.jocm.2020.100238  | 査読の有無<br>無                    |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-                     |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Kubo Takahiro, Mieno Taro, Kuriyama Koichi             | 4. 巻<br>70            |
| 2. 論文標題<br>Wildlife viewing: The impact of money-back guarantees | 5. 発行年<br>2019年       |
| 3. 雑誌名<br>Tourism Management                                     | 6. 最初と最後の頁<br>49 ~ 55 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.tourman.2018.06.010        | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                           | 国際共著<br>-             |

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Kim Hyerin, Shoji Yasushi, Tsuge Takahiro, Aikoh Tetsuya, Kuriyama Koichi  | 4. 巻<br>111                   |
| 2. 論文標題<br>Understanding services from ecosystem and facilities provided by urban green spaces: A use of partial profile choice experiment | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Forest Policy and Economics  | 6. 最初と最後の頁<br>102086 ~ 102086 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.forpol.2019.102086   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-                     |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Kuriyama Koichi, Shoji Yasushi, Tsuge Takahiro  | 4. 巻<br>37                    |
| 2. 論文標題<br>The value of leisure time of weekends and long holidays: The multiple discrete?continuous extreme value (MDCEV) choice model with triple constraints | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Choice Modelling   | 6. 最初と最後の頁<br>100238 ~ 100238 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.jocm.2020.100238  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-                     |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Shoji Yasushi, Kim Hyerin, Kubo Takahiro, Tsuge Takahiro, Aikoh Tetsuya, Kuriyama Koichi                      | 4. 巻<br>60                    |
| 2. 論文標題<br>Understanding preferences for pricing policies in Japan's national parks using the best?worst scaling method | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Journal for Nature Conservation   | 6. 最初と最後の頁<br>125954 ~ 125954 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.jnc.2021.125954   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-                     |

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 2件）

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>栗山浩一                        |
| 2. 発表標題<br>環境経済・政策学は環境政策に及ぼした影響を及ぼしたか？ |
| 3. 学会等名<br>環境経済・政策学会（招待講演）             |
| 4. 発表年<br>2021年                        |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Koichi Kuriyama  |
| 2. 発表標題<br>Estimation of Welfare Loss in Japanese National Parks due to COVID-19  |
| 3. 学会等名<br>The 30th Anniversary International Academic Conference of the Korea Environmental Economic Association（招待講演）（国際学会） |
| 4. 発表年<br>2020年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>栗山浩一・庄子康・柘植隆宏                 |
| 2. 発表標題<br>新型コロナウイルス感染症が国立公園に及ぼした影響の経済分析 |
| 3. 学会等名<br>環境経済・政策学会                     |
| 4. 発表年<br>2020年                          |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>藤野正也，栗山浩一                                 |
| 2. 発表標題<br>世界遺産についての情報提供が観光客の周遊行動に及ぼす影響 富士北麓地域を対象として |
| 3. 学会等名<br>環境経済・政策学会2020年大会                          |
| 4. 発表年<br>2020年                                      |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Koichi Kuriyama   |
| 2. 発表標題<br>Estimation of Welfare Loss in Japanese National Parks due to COVID-19   |
| 3. 学会等名<br>The 30th Anniversary International Academic Conference of the Korea Environmental Economic Association. August 20th (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>庄子康・金慧隣・柘植隆宏・愛甲哲也・栗山浩一               |
| 2. 発表標題<br>選好の多様性に考慮したレクリエーションエリアにおける混雑度の許容限界評価 |
| 3. 学会等名<br>環境経済・政策学会                            |
| 4. 発表年<br>2020年                                 |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>栗山浩一・庄子康・柘植隆宏                 |
| 2. 発表標題<br>新型コロナウイルス感染症が国立公園に及ぼした影響の経済分析 |
| 3. 学会等名<br>環境経済・政策学会                     |
| 4. 発表年<br>2020年                          |

|                                  |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>栗山浩一                  |
| 2. 発表標題<br>生態系サービスの経済評価の意義と現状、課題 |
| 3. 学会等名<br>日本森林学会大会              |
| 4. 発表年<br>2020年                  |



〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                       | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                                   | 備考 |
|-------|---|---|----|
| 研究分担者 | 藤野 正也<br><br>(Fujino Masaya)<br><br>(00792392)  | 福島大学・食農学類・准教授<br><br><br>(11601)                        |    |
| 研究分担者 | 庄子 康<br><br>(Shoji Yasushi)<br><br>(60399988)   | 北海道大学・農学研究院・准教授<br><br><br>(10101)                      |    |
| 研究分担者 | 柘植 隆宏<br><br>(Tsuge Takahiro)<br><br>(70363778) | 上智大学・地球環境学研究科・教授<br><br><br>(32621)                     |    |
| 研究分担者 | 久保 雄広<br><br>(Kubo Takahiro)<br><br>(80761064)  | 国立研究開発法人国立環境研究所・生物・生態系環境研究センター・主任研究員<br><br><br>(82101) |    |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|