

OS-17

# ヒューマンコンピューテーションとクラウドソーシング

—オーガナイズドセッションから見る研究分野の深化—

## Human Computation and Crowdsourcing Deepening of the Research Area Viewed from the Organized Sessions

松原 繁夫  
Shigeo Matsubara

京都大学大学院情報学研究科  
Department of Social Informatics, Kyoto University.  
matsubara@i.kyoto-u.ac.jp

櫻井 祐子  
Yuko Sakurai

産業技術総合研究所人工知能研究センター  
Artificial Intelligence Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology.  
yuko.sakurai@aist.go.jp

**Keywords:** human computation, crowdsourcing.

### 1. はじめに

2017年度人工知能学会全国大会（第31回）において、オーガナイズドセッション「ヒューマンコンピューテーションとクラウドソーシング」を開催した。2013年度から連続開催しており [OS 報告 13]、今年度が5回目となる。本稿の目的は、本セッションが対象とする研究領域を概説し、また、招待講演を含めて開催状況を報告することで、本研究領域への理解を深め、さらなる活性化につなげることである。

以下は、初回2013年のオーガナイズドセッションの内容説明の文章である。ヒューマンコンピューテーションとは、計算機だけでは現実的な性能を得ることが難しく、人間の認識や判断などを必要とするような課題において、人間を「計算資源」の一部として捉えることによって、両者を組み合わせてこれを解決するという考え方である。計算資源としての人間の労働力へのアクセス手段である Amazon Mechanical Turk などのクラウドソーシングの隆盛とも相まって、ヒューマンコンピューテーションは人工知能分野における大きなトレンドの一つとして注目を集めている。例えば、AAAI-2012において Henry Kautz 会長が AI 分野における4大トレンドの一つとしてヒューマンコンピューテーションをあげたことは記憶に新しい。また、ヒューマンコンピューテーションの提唱者である Luis von Ahn 氏を中心に、過去4年にわたって開催されてきたワークショップ HCOMP は、来年度からは国際会議に格上げされることが決まっており、急速に拡大している研究分野の一つである。しかし、その世

界的な盛り上がりとは裏腹に、日本国内におけるプレーヤはまだ少ない。本オーガナイズドセッションでは、我が国におけるヒューマンコンピューテーションとクラウドソーシングに関連する研究者とこの分野に興味をもつ研究者が一同に会することによって、国内における本分野への理解と一層の推進を図るものである。

ここ数年で、国内においてもクラウドソーシングへの理解は随分と深まり、また、安価なデータ収集手段としてクラウドソーシングを実際に利用する研究者も増えている。しかし、人と機械の協働による問題解決と見たときには、まだ多くの課題が存在し、その克服に人工知能技術の適用が期待されている。

ヒューマンコンピューテーションとクラウドソーシングに関する研究は人工知能やヒューマンコンピュータインタラクションの分野で活発に行われており、図1に示すように、その論文数は年々増加傾向にある\*1。2007～16年へと過去10年間の論文数の変化を見ると、ヒューマンコンピューテーションが87件から1300件へ、クラウドソーシングが351件から14700件へと増加しており、総数で438件から16000件へと36.5倍に増加している。関連する国際会議については、上記のように、2009年にKDDの併設ワークショップとして開催された Human Computation Workshop (HCOMP) が、2013年より AAAI 主催の国際会議 AAAI Conference on Human Computation & Crowdsourcing に格上げされ、毎年秋に行われている。また、AAAI, IJCAI, KDD,

\*1 論文数は Google Scholar での 2017 年 8 月 28 日時点の結果に基づく。

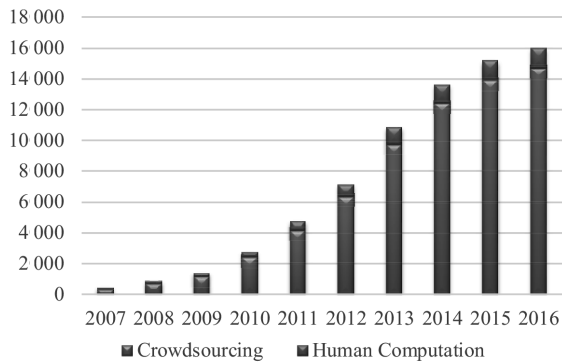


図1 2007～16年までの論文件数推移

ICML, CSCW, CHIといった難関国際会議でも関連論文が毎年採択されている。

以下は、今年度の論文募集時にテーマ例としてあげたものであり、年々対象とする範囲が拡大している。

- 理論・基盤：**機械学習・データマイニング、メカニズムデザイン、ヒューマンコンピュータインタラクション、プラットフォーム、社会科学・認知科学
- 応用：**言語・メディア処理、予測市場、コンテスト、ビッグデータ分析、ゲーミフィケーション・目的をもったゲーム (GWAP)、ソーシャルコンピューティング・コレクティブインテリジェンス (集合知)、クラウドセンシング・IoT、シェアリングエコノミー、MOOC・ラーニングアナリティクス、HR テック (AI による人材管理など)、ボランティアクラウド・シチズンサイエンス、プライバシ

これら多様なトピックに関して、本オーガナイズドセッションでは2013年の開始以降、これまでに招待講演6件を含め、合計68件の発表が行われている。

本解説では、ヒューマンコンピューテーションとクラウドソーシングへの理解を深めることを目的とし、まず、2章で、ヒューマンコンピューテーションとクラウドソーシングに関する概説を行う。その後、3章にて、発表論文の分類と昨年度までの招待講演を紹介し、4章で本年度のセッションに関する説明を行う。5章で最新の研究動向を紹介するとともに、6章にてサーベイ文献などの紹介を行う。

## 2. ヒューマンコンピューテーションとクラウドソーシング

本章では、ヒューマンコンピューテーションとクラウドソーシングに関して概説する。ヒューマンコンピューテーションは、既存の人工知能アルゴリズムのスコープ外の計算上の問題を解決するために人間の知能を利用 (harness) するものであり [Law 11]、例えば、人力OCRであるreCAPTCHAは応用例の一つである。一方、クラウドソーシングは、アウトソーシング (outsourcing) からの造語であり、インターネット越しに待機している

不特定多数の群集 (crowd) にタスクを委託するというアイデアを意味する [Howe 08]。

クラウドソーシングの成功例の一つは、Netflix チャレンジである\*2。これは、映画の推薦アルゴリズムの改善を課題として、顧客のレンタル履歴情報をもとに、顧客がどの映画を好むかを予測するモデルを参加者に提案させ、その性能を競わせたものである。この過程で得られた予測モデルの一部は、実際にNetflixのビジネスに反映されたといわれている。また、この成功はKaggleというスタートアップ企業の創設に結び付いている。

また、研究への利用という点では、Amazon Mechanical Turk 出現の影響が大きい\*3。人を計算資源として利用する際の困難さの一つは、十分な数の参加者を集めることである。Mechanical Turk は、録音データの書き起こしタスクや画像のタグ付けタスクなどマイクロタスクと呼ばれる単純なタスクの主要な取引市場となっており、タスクの依頼者が参加者を集めるための労力を軽減している。

以下に、どのような技術が議論されているか、簡単に紹介する。

### 情報集約の技術：機械学習アプローチ

機械学習アプローチの中心的課題はノイズの除去である。クラウドソーシングにおいては、参加者の能力は多様であり、能力の低い参加者による貢献はノイズとなる。ノイズ除去法として、例えば、ラベルの正誤を判定する際に、同じタスクを複数の参加者に依頼し、得られた結果に対してEMアルゴリズムを適用するといった方法がある。すなわち、多数決で仮の正解を決め、それに応じて各参加者の正解率を求めて、重み付き多数決を行うことで仮の正解を更新する。この作業を収束するまで繰り返すことでノイズの影響を低減できる。この方法の発展として、参加者のスキルや問題の難しさを含めてモデル化し、さらに品質改善を図る方法が研究されている。

### 情報集約の技術：ワークフロー制御アプローチ

ワークフロー制御アプローチでの中心的課題は要求品質の確保と費用削減の両立である。複数の参加者に同じタスクを与え結果を統合すれば、品質は改善されるが費用は増える。要求品質を満たし、費用を最小化するような参加者の割当てを求める問題には、POMDPの応用などが議論されている。また、他者の作業結果を見せるか否かといったタスクの与え方に関する研究も存在する。例えば、画像の内容記述タスクでは、他者の作業結果を見せて逐次改善を行う方法が優れているのに対し、商品のネーミングタスクでは、他者の作業結果を見せずに独立に作業させる方法が優れているとの報告がなされている。

\*2 <http://www.netflixprize.com/>

\*3 <https://www.mturk.com/mturk/welcome>

### 参加促進の技術：問題変換アプローチ

問題変換アプローチとは、より多くの参加者を得るために、タスクをそのままの形で提示するのではなく、参加者の努力を引き出しやすい形に変換して提示するものである。適切な問題変換によって人間の直観力（パターン認識能力）を活かせるようにした成功事例として **Foldit** が知られている\*4。Foldit は化学的に安定した最低エネルギー構造を特定するタンパク質折畳み問題の解決を目的としており、この問題をパズルゲームの形に変換して参加者に競わせることで、結果として、結晶学者が10年かかっても解けなかった難問題を3週間で解くことに成功している。

### 参加促進の技術：メカニズムデザインアプローチ

メカニズムデザインアプローチとは、報酬設定などのメカニズム・制度の工夫により、参加を促すものである。メカニズムの設計には、メカニズムデザインと呼ばれるゲーム理論の一分野の研究成果が応用されている。組織形成におけるメカニズムデザインという観点から興味深いチャレンジとして、2009年に行われた **DARPA** ネットワークチャレンジがある\*5。これは40,000米ドルの優勝賞金を目指して、米国内の秘密の場所10か所に係留された気象用風船を、いかに早く見つけるかを競うものである。優勝したMITチームは、9時間以内にすべての風船の発見に成功している。研究としても、ネットワーク上での報酬配分法の問題として多くの議論がある。

## 3. これまでの発表論文の傾向

本章では、まず、今年度を含め、本セッションで発表された論文を研究テーマで分類することで、発表論文の傾向を紹介する。さらに、昨年度までの招待講演の概要を紹介する。各年度のオーガナイザがそのときどきの技術動向を鑑みて招待講演者を決定しており、研究テーマは多岐にわたる。また、大学、国研、企業とその所属がさまざまである点も特長である。

本セッションでは招待講演を含めて合計68件の発表が行われた。2014年度以降、セッション数に制限が設けられたため、2013年と比較して半減しているが、例年10件程度の論文が集まっている。2014年と2016年については、セッションでの発表可能件数を超えた投稿があったため、いずれの年も2件の論文は一般セッションでの発表となった。また、例年2件程度は企業からの発表であり、ここでも、ヒューマンコンピューテーション・クラウドソーシングがアカデミアだけでなく、産業分野でも注目されていることが確認できる。

表1 招待講演と発表論文を対象にした研究テーマによる分類

キーワード	2013	2014	2015	2016	2017	総数
品質管理	6	1	1	2	0	10
言語・音声 画像データ 収集	2	2	2	2	0	8
主観情報 データ収集	2	1	3	0	2	8
タスク割当	2	1	2	1	0	6
メカニズム 設計	1	1	0	1	2	5
地理空間 情報収集	3	1	1	0	0	5
ワークの 行動分析	1	1	0	1	1	4
ライブ サイエンス データ収集	1	1	0	1	1	4
予測市場	0	1	0	1	1	3
タスク改善	0	2	0	0	1	3
予測モデル の構築	2	0	0	0	1	3
プラットフォーム	1	0	0	1	0	2
コンテスト	0	1	1	0	0	2
教育	1	0	1	0	0	2
ゲーム	1	0	0	1	0	2
プライバシー	0	1	0	0	0	1
総数	23	13	11	12	9	68

これまでの招待講演を含めた発表論文を研究テーマごとに分類したものを表1に示す。なお、この分類は本稿の著者が、各論文を見て整理したものである。クラウドソーシングの最重要技術課題の一つである品質管理に関する論文が最も多い。次に、言語・音声・画像データ収集、感情などの主観情報のデータ収集に関するテーマが続いている。ヒューマンコンピューテーションの本質は、人間が有する能力や特性と計算機の計算能力をいかに組み合わせるかにあり、主観情報という人間が扱うことに優れた対象と、品質管理という計算機が優れた技術への関心の高さが発表論文にも現れており、大変興味深い。

次に、2016年までの招待講演を紹介する。

2013年度：この年は2名の招待講演を行った。

森嶋厚行氏（筑波大学）「Crowd4U：アカデミアと応用分野専門家が構築する高度クラウドソーシングプラットフォーム」アカデミアが独自のクラウドソーシングプラットフォームをもつことの重要性が強調され、森嶋氏らが開発している非営利・公益・学術のためのプラットフォームであるCrowd4Uが紹介された。また、クラウドソーシングではより複雑なタスクに取り組むべきこと、そのために手続きを明示せず実行する宣言型クラウドソーシングの有効性が画像からの竜巻の経路推定の問題などを例に示された。

後藤真孝氏（産業技術総合研究所）「クラウドソーシングに基づく能動的音楽鑑賞サービス Songle と音声情報検索サービス PodCastle」計算機による音

\*4 <http://fold.it/portal/>

\*5 <http://archive.darpa.mil/networkchallenge/>

楽理解・音声認識の誤りの訂正インタフェースを Web 上で提供し、不特定多数による自発的な訂正がユーザ体験の改善に結びつくことでさらなる利用を促していくことの有効性を述べられた。

**2014 年度：**清水伸幸氏（ヤフー株式会社 Yahoo! JAPAN 研究所）「クラウドソーシングの現状と課題」クラウドソーシングの利用による効果の一つとして、大学の一研究室が数日で千以上のワーカを動員し、タグ付けなどのタスクを行うことが可能になったという事例を紹介された。その一方で、成果物の品質保証の問題があり、例えば、単純なタスクであってもリクエスタが意図する結果が得られない場合がある。その原因の一つとして、タスク説明文に対するワーカごとの解釈の相違を指摘し、人工知能の技術を応用することで、このような相違が生じない説明文の生成が可能になるという研究成果の紹介が行われた。

**2015 年度：**山田尚貴氏（株式会社エニドア）「バイリンガルに特化したクラウドソーシングプラットフォーム Conyac」主に翻訳作業を対象とした Conyac における品質管理の取組みが紹介され、翻訳結果の相互評価を一例として示された。Conyac では、参加するバイリンガル同士で相互評価を行う仕組みが導入されており、特にスタートレベルの参加者に対して、他のバイリンガルからの評価が品質の引上げに貢献している事例が紹介された。一方、相互評価の課題としてバイリンガル同士が友人である場合に評価にバイアスが掛かること、評価に対する報酬設計が困難であることなどが指摘された。

**2016 年度：**荒牧英治氏（奈良先端科学技術大学院大学）「クラウドソーシングが拓く新たな医学知」医学分野では、従来は少数の被験者に対する臨床実験を経て仮説の検証が行われてきたが、クラウドソーシングの活用により、被験者の規模拡大と検証の効率化が期待できる。また、仮説提案自体をクラウドソーシングに委ねることも考えられる。アレルギー因子の仮説提案とアンケートを通じたその検証をクラウドソーシングで実施した事例の紹介とともに、クラウドソーシングで得られる仮説には、重複や、表現の曖昧性という課題があることも示された。

#### 4. 今年度のオーガナイズドセッションの概要

今年度は大会期間の最終日午後の開催にもかかわらず、立ち見が出るほどの盛況となった（図 2）。招待講演は株式会社クラウドワークスの弓山 彬氏により「クラウドソーシングサービスにおける課題改善への取組みと今後の展望」についてご講演いただいた。課題の一つとして、仕事発注者による不適切な投稿（仕事募集）の増加に関する説明があった。不適切な投稿とは、アフィリ



図 2 会場の様子

エイト投稿やランキング操作依頼などの外部サービスに対する不正な作業や雇用を前提とした募集などのことである。従来、不適切な投稿の検出は、該当する文面に頻出する禁止ワードを列挙し、正規表現で一致判定を行っていたが、ベイジアンフィルタを適用することで性能が向上したとのことである。これら一連の取組みは、2017 年 7 月にプレスリリースとして配信されている\*6。

次に、表 1 の分類に従い、発表論文に関して簡単に紹介する。主観情報データ収集に関する研究として、森瀬寛己らは、ホテルの立地、部屋、食事、風呂、サービス、設備といった多基準評価値を含んだ大規模かつスパースなデータに対して、間接的なユーザ間の類似度と文章で書かれたレビューコメントを利用することで既存手法を拡張し、より高精度な協調フィルタリングおよび評価値統合を実現する方法を提案している。また、遠藤ルカス良らは、感性評価に基づく最適化を省コストで行う手法として、クラウドソーシングとベイズ最適化を組み合わせた手法を提案している。ドット数上げタスクと色の組み合わせ評価タスクを用いた実験により、提案法が少ないデータ数で精度良く予測を行うことを示している。

メカニズム設計に関する研究として、Johmphot Tantawichien らは、映画の製作意思決定という課題に関して、ヒューマンコンピューテーションゲームによって主観的要因を決定し、それを数学モデルと組み合わせることで、性能改善を図る方法を提案している。また、櫻井祐子らは、ワーカへの適切な報酬設定を検討するために、日本のクラウドソーシングサービスを利用して、ワーカから、リクエスタとして予算制約があるもとで考案したメカニズムのフレームと、個人の価値志向性尺度の理論、経済、社会に関する尺度と正当世界尺度との関係性について調べた。

ワーカの行動分析に関する研究として、池田和史らは、モバイルクラウドソーシングにおいて、ワーカの状況（多忙かどうか、疲労を感じているかどうか）が作業性能に影響を与えるかという研究課題に関して、経済学、心理学の知見をもとに仮説を形成し、50 人の被験者による 3

\*6 <https://crowdworks.jp/press/?p=7214>

週間の実証実験を行うことで、ワーカの状況が作業性能に有意に影響することを確認している。

ライフサイエンスデータ収集に関する研究として、米良俊輝らは、非専門家へのクラウドソーシングによって、仮説を入手しそれらを検証するという因果関係の発見に必要なプロセスの実現法を提案している。仮説立案だけでなく、検証も群集の力で行うとする点が新規であり、クラウドソーシングによるコホート研究への可能性を拓くものである。

予測市場に関する研究として、別府桂介らは、予測市場として実装された経路選択支援サービス **Route Market** におけるトレーダの挙動を調べた。マルチエージェントシミュレーションを用いることで、市場参加者の人数や所持金の量、取引に必要な知識量など多種多様な状況におけるトレーダの挙動分析を可能にしている。

タスク改善に関する研究は、上述の弓山氏の招待講演が該当する。

予測モデル構築に関する研究として、高濱隆輔らは、機械学習のデータ処理パイプラインに人間を取り込む **Human-in-the-loop** 機械学習の研究事例として、機械学習のブースティングの枠組みによって、識別が難しい例に注目して新しい特徴生成をクラウドソーシングに依頼することで、効率的に特徴生成を行う方法を提案している。

## 5. ヒューマンコンピューテーション・クラウドソーシングの研究動向

本章では、ヒューマンコンピューテーション・クラウドソーシングの主要研究テーマに関する研究動向を紹介する。

### 5.1 品質管理

クラウドソーシングにおける品質保証は、いまだ重要な課題の一つであり、さまざまな取組みがなされている。例えば、翻訳などの成果物が非定型となる場合はその統合が難しく、従来の回答統合法の適用は困難であった。そこで、成果物の品質評価もクラウドソーシングで依頼し、評価結果に対して回答統合法を適用するという2段階化のアプローチに基づいた手法が提案されている [Sunahara 17]。多肢選択式のタスクにおいては、同じタスクを複数ワーカに回答させ、その結果を多数決などで統合する手法が広く用いられている。ワーカの能力などを考慮した統計的な回答統合法が提案されているが、多数派が不正解となる難しいタスクには適用することができなかった。そこで、少数派となる専門家(難しいタスクに正答するワーカ)を見つける手法の研究が進んでおり、いくつかの手法が提案されている [Ipeirotis 14, Li 14, Li 17, ]。

### 5.2 メカニズム設計

クラウドソーシングでは、作業品質制御手法の一つとして、メカニズム設計理論を適用したインセンティブの与え方に関する研究が多数存在する。金銭的インセンティブが最も一般的であるが、高い報酬額を与えることで作業品質が向上するわけではなく、例えば、Masonらの調査により、報酬額を上げることでタスクを実行する処理速度を向上させるが、一方で、作業品質自体は向上しないという結果が知られている [Mason 10]。そこで、適切な報酬額の設定方法 [Sakurai 15] や不誠実ワーカを排除する設定方法 [Matsubara 14] が提案されている。

### 5.3 ライフサイエンス

ライフサイエンス分野では、日本でのデータサイエンスコンテストの開催とデータ収集指向のクラウドソーシングプロジェクトの増加があげられる。前者については、日本語データサイエンス基盤の整備によるところが大きく、例えば、2016年に日本DNAデータバンクによるDNA配列注釈予測のコンテストが、ビッグデータ大学<sup>\*7</sup>基盤上で実施された [神沼 16]。後者については、Mechanical Turkなどを使って間欠的にデータ収集を行う場合が多かったが、食品媒介疾患研究<sup>\*8</sup>など、データ申告用アプリを通して常時データを収集する研究プロジェクトが現れている [Quade 17]。

### 5.4 プラットフォーム

プラットフォーム分野に関して、現在、JST CREST「CyborgCrowd：柔軟でスケーラブルな人と機械の知力集約」(研究代表者：森嶋厚行)においてCyborgCrowdプロジェクトが進められている。これは、クラウドソーシングを通じたヒューマンコンピューテーション、アルゴリズムによる計算機処理、それらのハイブリッド処理などを区別することなく統一的に扱うための理論とミドルウェアの構築を目標とした研究プロジェクトである。また、それに関連し、2017年12月にポストンでIEEE Bigdata 2017のワークショップとして、IEEE Workshop on Human-Machine Collaboration in Bigdata (IEEE HMDData 2017)が開催される。

## 6. サーベイ文献紹介

本章では、ヒューマンコンピューテーションとクラウドソーシングに関してより深い理解を得たいと考える読者のために、サーベイ文献などを紹介する。

まず、国内では、本セッションの歴代のオーガナイザを含め、ヒューマンコンピューテーションとクラウドソーシングの関連研究者らがまとめた、本会誌特集「ヒュー

\*7 <http://universityofbigdata.net/>

\*8 <https://iwaspisoned.com/>

マンコンピューテーションとクラウドソーシング」があり、網羅的な解説を読むことができる [特集 14]。さらに、本学会誌「私のブックマーク：クラウドソーシングとヒューマンコンピューテーション」では、学術だけでなく関連サービスも含めたサイトの紹介が行われている [馬場 15]。書籍では、鹿島らが執筆した「ヒューマンコンピューテーションとクラウドソーシング」がある [鹿島 16]。チュートリアルに関しては、馬場によって言語処理学会年次大会などで行われている\*9。また、「クラウドソーシング研究会」の Web ページ\*10 では、本セッションでの発表論文へのリンクのほか、本分野に関するさまざまなイベントの情報が掲載されている。

海外関連研究者らのサーベイについては、文献 [Chittilappilly 16] は、クラウドソーシングに関して、インセンティブ、タスク分割、タスク割当てなど広い範囲を取り上げ、長所と短所という形でまとめている。文献 [Luz 15] は、クラウドソーシングのプラットフォームを詳細に説明し、文献 [Mao 17] は、ソフトウェア工学など異なる研究領域とクラウドソーシングの関係を紹介している。書籍としては [Michelucci 13] がある。また、国際会議で多数の関連チュートリアルが行われている。例えば、機械学習分野では Jenn Wortman Vaughan (MSR) が NIPS 2016, ACL 2017, KDD 2017 などでも精力的にチュートリアルを行っている\*11。

## 7. おわりに

本解説記事では、2017 年度人工知能学会全国大会オーガナイズドセッション「ヒューマンコンピューテーションとクラウドソーシング」に関して、セッションの紹介とともに、当該分野の研究課題など、研究動向に関する説明を行った。本解説を通じて、多数の人にヒューマンコンピューテーションとクラウドソーシングに関心をもっていただければ幸いである。また、今後もオーガナイズドセッションを企画する予定である。ぜひとも論文投稿をご検討いただきたい。

## 謝辞

本解説記事を執筆するにあたり、芦川将之氏（東芝）、小山聡氏（北海道大学）、鹿島久嗣氏（京都大学）、神沼英里氏（国立遺伝学研究所）、馬場雪乃氏（京都大学）、水山元氏（青山学院大学）、森嶋厚行氏（筑波大学）からご協力いただいた。心より感謝致します。

## ◇ 参考文献 ◇

- [馬場 15] 馬場雪乃：私のブックマーク「クラウドソーシングとヒューマンコンピューテーション」, 人工知能, Vol. 30, No. 1, pp. 136-141 (2015). <https://www.ai-gakkai.or.jp/my-bookmarkvol30-no1/>
- [Chittilappilly 16] Chittilappilly, A. I., Chen, L. and Amer-Yahia, S.: A survey of general-purpose crowdsourcing techniques, *IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 28, Issue 9, pp. 2246-2266 (2016)
- [Howe 08] Howe, J.: *Crowdsourcing: Why the Power of the Crowd is Driving the Future of Business*, Crown Publishing Group (2008). ジェフ・ハウ 著, 中島由華 訳: クラウドソーシング: みんなのパワーが世界を動かす, 早川書房 (2009)
- [Ipeirotis 14] Ipeirotis, P. G. and Gabrilovich, E.: Quizz: Targeted crowd-sourcing with a billion (potential) users, *Proc. 23rd Int. Conf. on World Wide Web (WWW)* (2014)
- [神沼 16] 神沼英里, 馬場雪乃, 望月正弘, 松本拓高, 尾崎 遼, 岡山利次, 加藤卓也, 沖 真弥, 小笠原理, 鹿島久嗣, 高木利久: DDBJ データ解析チャレンジ報告: 機械学習コンペティションのタスク設計とルール設定, 第 39 回日本分子生物学会年会 2LBA-015 (2016)
- [鹿島 16] 鹿島久嗣, 小山 聡, 馬場雪乃: ヒューマンコンピューテーションとクラウドソーシング, 講談社 (2016)
- [Law 11] Law, E. and von Ahn, L.: *Human Computation*, Morgan & Claypool Publishers (2011)
- [Li 14] Li, H., Zhao, B. and Fuxman, A.: The wisdom of minority: discovering and targeting the right group of workers for crowdsourcing, *Proc. 23rd Int. Conf. on World Wide Web (WWW)* (2014)
- [Li 17] Li, J., Baba, Y. and Kashima, K.: Hyper questions: Unsupervised targeting of a few experts in crowdsourcing, *Proc. 26th ACM Int. Conf. on Information and Knowledge Management (CIKM)* (2017)
- [Luz 15] Luz, N., Silva, N. and Novais, P.: A survey of task-oriented crowdsourcing, *Artificial Intelligence Review*, Vol. 44, Issue 2, pp.187-213 (2015)
- [Mao 17] Mao, K., Capra, L., Harman, M. and Jia, Y.: A survey of the use of crowdsourcing in software engineering, *J. of Systems and Software*, Vol. 126, pp.57-84 (2017)
- [Mason 10] Mason, W. and Watts, D. J.: Financial incentives and the "performance of crowds", *SIGKDD Explor., Newsl.*, Vol. 11, No. 2, pp. 100-108 (2010)
- [Matsubara 14] Matsubara, S. and Wang, M.: Preventing participation of insincere workers in crowdsourcing by using pay-for-performance payments, *IEICE Trans. on Information and Systems*, Vol. E97-D, No. 9, pp. 2415-2422 (Sept. 2014)
- [Michelucci 13] Michelucci, P. (ed.): *Handbook of Human Computation*, Springer (2013)
- [OS 報告 13] OS-07 「ヒューマンコンピューテーションとクラウドソーシング」, 人工知能学会誌, Vol. 28, No. 6, p. 940 (2013)
- [Quade 17] Quade, P. and Nsoesie, E. O.: A platform for crowdsourced foodborne illness surveillance: Description of users and reports, *JMIR Public Health and Surveillance*, Vol. 3, No. 3, e42 (2017)
- [Sakurai 15] Sakurai, Y., Shinoda, M., Oyama, S. and Yokoo, M.: Flexible reward plans for crowdsourced tasks, *Proc. 18th Int. Conf. on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA)* (2015)
- [Sunahara 17] Sunahase, T., Baba, Y. and Kashima, H.: Pairwise HITS: Quality estimation from pairwise comparisons in creator-evaluator crowdsourcing process, *Proc. 21st AAAI Conf. on Artificial Intelligence (AAAI)* (2017)
- [特集 14] 特集「ヒューマンコンピューテーションとクラウドソーシング」, 人工知能, Vol. 29, No. 1, pp. 2-54 (2014)

\*9 <http://yukino.moo.jp/NLP2017-human-computation.pdf>

\*10 <https://sites.google.com/site/crowdsourcingresearch/>

\*11 <http://www.jennvw.com/projects/crowdtutorial.html>

---

**著者紹介**

---

**松原 繁夫** (正会員)

1990年京都大学工学部精密工学科卒業。1992年同大学院工学研究科修士課程修了。同年、NTTに入社。2007年より京都大学情報学研究科社会情報学専攻准教授。情報経済学の研究に従事。博士(情報学)。2002年度本学会論文賞、2003年度情報処理学会研究開発奨励賞、2005年度日本ソフトウェア科学会論文賞受賞。日本ソフトウェア科学会、情報処理学会、

電子情報通信学会各会員。

**櫻井 祐子** (正会員)

1997年名古屋大学大学院多元数理科学研究科修士課程修了。同年、日本電信電話株式会社に入社。2007年より日本学術振興会特別研究員(RPD)。2009年よりヤフー株式会社。2010年より科学技術振興機構ERATO研究員。2011年より九州大学大学院システム情報科学研究院准教授。2017年より産業技術総合研究所主任研究員。マルチエージェントシステム、メカニズムデザインに関する研究に従事。博士(工学)。情報処理学会、日本ソフトウェア科学会、電子情報通信学会各会員。

電子情報通信学会各会員。