

# 山梨県若手研究者奨励事業 研究成果報告書

所属機関名	山梨大学工学部コンピュータ理工学科
職名・氏名	助教・李吉屹 <span style="float: right;">Ⓔ</span>

## 1 研究テーマ

クラウドソーシングによるラベルから信頼的深層モデルの学習法

## 2 研究の目的

### 【本研究の学術的背景】

近年、人工知能（AI）とハードウェアなどの技術の進歩に伴い、機械学習技術、特に深層学習技術が広く研究され、様々な分野や場面で利用されている。教師なし学習はある程度の進歩を遂げているが、（半）教師あり学習で用いられるラベル付きデータの質は、機械学習モデルが実世界のタスクでうまく機能するために非常に重要な要素であることに変わりはない。専門家のラベリングによって比較的質の高いラベル付きデータを得ることができるが、専門家のコストが高いため、大規模なデータセットを構築することは困難である。クラウドソーシングは、個々の人間の知性によって実現される集合知であり、比較的低コストで大量のラベル付きデータを収集するための重要な手段である。クラウドソーシングは、依頼者がタスクを公開し、作業（クラウドワーカー）にそれを行わせることができるウェブサービスプラットフォームによって実現できる。しかし、クラウドワーカーの能力や勤勉さの違いにより、クラウドソーシングで作成されるラベルの質は多様である。

### 【研究課題の核心をなす学術的「問い」】

本研究の核心をなす学術的問いは、次世代の人工知能の基盤技術として、クラウドソーシングを用いて収集されたノイズの多いデータから、信頼性が高く解釈可能な一貫通貫（エンド・ツー・エンド）の深層学習法を明らかにすることである。クラウドワーカー、クラウドラベル、インスタンスコンテキスト、大量のカテゴリや極端アンバランスなカテゴリの性質と関係を理解し、信頼性と解釈可能性をモデル化することで、解釈可能で信頼できる技術が社会に実装され、安心してAIを利用できる人間中心のAI社会実現に貢献する。

### 【関連する国内外の研究動向と本研究の位置づけ】

背景で述べたように、ノイズの多いクラウドラベルからの深層学習に関する既存研究（例、[LFC 2018, SpeeLFC 2020]）は、非常に低品質のクラウドラベルやコンテキスト依存のノイズやクラウドモデリングの問題への対応が不足しており、解釈可能性と大量のカテゴリや極端アンバランスなカテゴリという場面への対応が不十分であるのが現状である。本研究

では、これらの問題やケースを解決するための新しい方法を提案する。機械学習モデルの解釈可能性に関する研究領域において、NLP 領域の既存研究（例、[Rationale 2020]）は、ノイズを考慮せずに分類における特定のクラスの証拠であるクラス固有の根拠を主に重視しているが、本研究では、ノイズの多いクラウドラベルとクラスを問わない根拠を対象を区別するために活用する新しい方法を提案し、実世界的場面での性能を向上させることを目的とする。このように、本研究では、信頼性の高い AI を社会に提供するために、集合知（クラウドソーシング）と AI の連携に関する新たなソリューションを提案する。

### 3 研究の方法

ノイズの多いクラウドラベルを機械学習モデルに利用する手段の一つとして、クラウドラベル自体の品質を保証・向上させる品質管理手法が提案されている、例えば、クラウドラベル統合手法（例[Li IJCAI 2020, Li IJCAI 2018]）である。依頼者は同じインスタンスに対して異なる作業員から複数のラベルを集める。クラウドラベル統合は、ワーカーの能力などのクラウド要因をモデル化し、大量のクラウドラベルから信頼できるラベルを集約する手法の一種である。このような場合、標準的な機械学習手法では、クラウドラベルを直接利用するのではなく、生のクラウドラベルよりも比較的品质の高い統合されたラベルを利用してモデルを学習させる。

一方、ノイズの多いクラウドソーシングデータから直接機械学習モデルやエンドツーエンドの深層学習モデルを学習する方法が近年注目されている[LFC 2018, SpeeLFC 2020]。このように、クラウドラベル統合モデルと機械学習モデルを共同で学習し、互いに協力することができる。クラウドソーシングによるラベルからの深層学習[LFC 2018]を例にとると、この種のモデルは、クラウドワーカーを区別してモデル化するクラウドレイヤーを追加することで一般の深層学習モデルと差別化し、クラウドラベル統合モデルと機械学習モデルの統合という目的を達成している。しかし、このような既存研究は、以下の 4 つの問題やケースにうまく対応できていない。

- (a) クラウドデータによる学習する深層モデルの解釈可能性に欠ける。
- (b) インスタンスのコンテキスト依存のノイズやワーカーの性質がうまくモデル化されていない。
- (c) 難しいタスクではクラウドラベルの質が非常に低いため、性能が低い。
- (d) カテゴリ数が非常に多い場合や、カテゴリ別のインスタンスが極端にアンバランスな場合の解がない。

本研究の主な目的は、クラウドソーシングを利用してノイズの多いラベルを収集する際に、集合知と AI が効果的・効率的に連携して、多様で困難な実世界的学習場面で信頼性の高い解釈可能な深層学習モデルを学習する方法について提案することである。具体的な目的（研究項目）は以下の 4 つである。

- (a) クラウドソーシングによるラベルから学習する深層学習モデルの解釈可能性に関する解決策を開発する。

- (b) ノイズやワーカーをモデル化する際に、インスタンスのコンテキストを統合する手法を開発する。
- (c) 難しいタスクのための非常に低品質なクラウドラベルを扱う方法を開発する。
- (d) 大量かつ極端にアンバランスなカテゴリに対する解決策を開発する。

本研究は、既存研究では十分に明らかにされていない、クラウドデータからの信頼性が高く解釈可能な深層学習モデルの学習に関する課題からなる。クラウドソーシングを利用してノイズの多いラベルを収集する際に、集合知と AI が効果的・効率的に連携して、多様で困難な実世界的学習場面で信頼性の高い解釈可能な深層学習モデルを学習する方法について提案することである。具体的には、2022 年は主にクラウドデータに基づくモデルの解釈可能性に関する方法の開発を行う予定である(研究項目(a))。クラウドソーシングで追加収集したオブジェクトの内容に関するノイズのある分類解釈ラベルを活用して、分類性能を向上させるとともに、モデルの解釈を提供する。2022 年以降の将来の課題として、インスタンスのコンテキストを活用したノイズやクラウドワーカーの特性の解明とモデル化(研究項目(b))、難易度の高いタスクに対する低品質データからの学習(研究項目(c))、大量かつ極端にアンバランスなカテゴリの場合においてクラウドデータに対する方法(研究項目(d))の開発など、以上のトピックに取り組む。

## 4 研究の成果

査読付き人工知能に関する主要な国際会議 ICONIP2022 に論文 1 編を発表した(研究項目(d))；ソースコードを公開した。査読付き人工知能に関するトップ国際会議 WWW2023 に論文 1 編が採択された(研究項目(a))；2023 年 4 月に発表する予定である；ソースコードを公開した。査読付き人工知能に関するトップ国際会議 ACL2023 に論文 1 編を投稿中である(研究項目(a)(c))。当初の計画以上に進展した。

### ① クラウドデータによる学習する深層モデルの解釈可能性・難しいタスクのための非常に低品質なクラウドラベルによる学習

クラウドソーシングは、データのラベルを収集するための効果的なソリューションです。人工知能のアプリケーションのためのラベル付きデータである。ノイズの多いクラウドラベルからの学習に関する既存研究は、収集されたラベルが平均して妥当な品質であるような、比較的簡単なタスクを一般的に仮定している；すなわち、難しいタスクのクラウドラベルからの学習はまだ課題として残っている。本研究項目のアイデアは、人間が実例のクラスラベルを判断することが困難なタスクであっても、人間は実例の内容を主観的かつ抽象的に記述できることが多く、分類で学習した特徴を改善するための補助情報として利用することが可能である。クラス弱依存クラウド根拠（異なるクラスの実例を区別できる実例内容の記述）をモデル改善に利用することを検討する。図 1 はビデオ実例に基づく例であり、クラウドワーカーによるクラスに弱依存クラウド根拠ラベルを提供してもらうことができる。本研究項目では、クラウドクラスラベルとクラウド根拠ラベルの両方を持つ 2 つの実世界データセットを収集する。クラウドクラスラベルとクラウド根拠ラベルという 2

種類のラベルの両方から学習するために、ニューラルネットワークに基づく共同学習モデルを提案し、マルチタスクアーキテクチャと再構成損失で、共有と分離された特徴を効果的に学習することができる。収集したデータセットを用いた実験結果から、提案方法がクラウド根拠ラベルを効果的に活用し、予測性能を向上させることが示された。査読付き人工知能に関するトップ国際会議 ACL2023 に論文 1 編を投稿中である。


ビデオ	クラス	クラスラベル
	自発的または意図的な笑顔?	自発的
	<b>クラス弱依存クラウド根拠</b>	<b>根拠ラベル</b>
	このビデオの人は歯を見せて笑っていますか?	はい
	このビデオの人は肩を動かさずに笑っていますか?	いいえ
	このビデオの人は目を細めて笑っていますか?	はい

図 1 クラスに弱依存のクラウド根拠とクラウドクラスラベル

## ② クラウドデータによる学習する深層モデルの解釈可能性・ワーカーの多視点判断の設定においてクラウドソーシングによる多視点表現学習

クラウドソーシングは、多くの分野で大規模なデータ収集に利用されている。三重の類似性比較はクラウドソーシングのタスクの一種であり、クラウドワーカーは「与えられた 3 つの物体のうち、どの 2 つがより似ているか」という質問されるが、これは人間にとって比較的簡単に答えることができる。図 2 はトリプレット (triplet、三重) 類似性比較ラベルの場合の例である。

Which two of three images are more similar ?

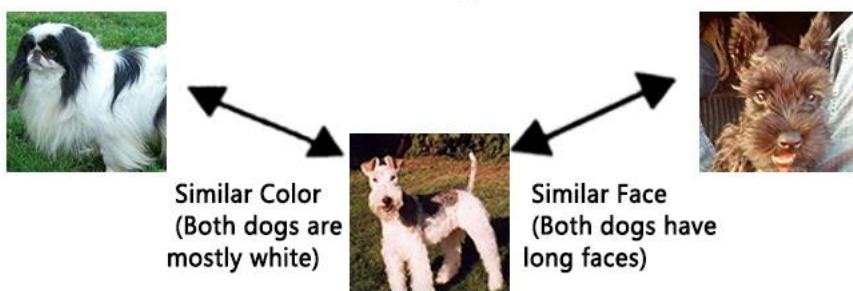


図 2 ワーカーの多視点トリプレット類似性比較 [WWW 2023]

しかし、比較は複数の視点、すなわち色や形などの異なる独立した属性に基づいて行われることがある。それぞれの視点は、同じ 3 つのオブジェクトに対して異なる結果を導くかもしれない。既存研究において、多視点埋め込みを生成するアルゴリズムが提案されているが、少なくとも 2 つの問題を含んでいる：(1) 既存方法は、新しいサンプルに対して独立して多視点埋め込みを予測できない、(2) 異なる人々が異なる視点を好む可能性がある。本研究項目では、多視点表現学習問題を解決するために、エンドツーエンドの帰納的深層学習フレームワークを提案する。その結果、提案方法は、各視点がオブジェクトの独立した属性に対応する、任意のオブジェクトの多視点埋め込みを得ることができることを示す。図 3 は提案方法のモデルを示す。クラウドソーシングプラットフォームから 2 つのデータセットを収集し、従来のベースライン方法と比較した提案方法の性能を実験的に調査した。

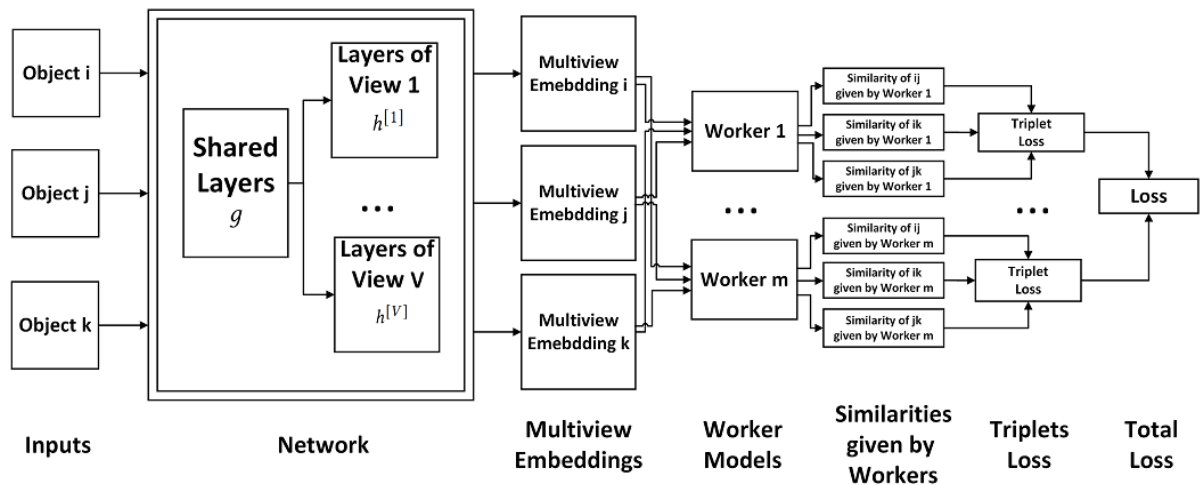


図3 提案手法のモデル [WWW 2023]

[WWW 2023] Xiaotian Lu, Jiyi Li, Koh Takeuchi, Hisashi Kashima, "Multiview Representation Learning from Crowdsourced Triplet Comparisons", Proceedings of the ACM Web Conference 2023 (WWW 2023), Apr. 2023.

[ソースコード] : [https://github.com/17bit/multiview\\_crowdsourcing](https://github.com/17bit/multiview_crowdsourcing)

### ③ 大量かつ極端にアンバランスなカテゴリに対する方法

マルチラベルテキスト分類では、通常、異なるカテゴリのインスタンス数が極端にアンバランスである。不均衡なデータからいかにして良いモデルを学習するかは、難しい問題である。既存方法では、クラス再バランス戦略や不均衡損失目標関数によってこの問題に取り組んでいるが、その性能は依然として限定的である。

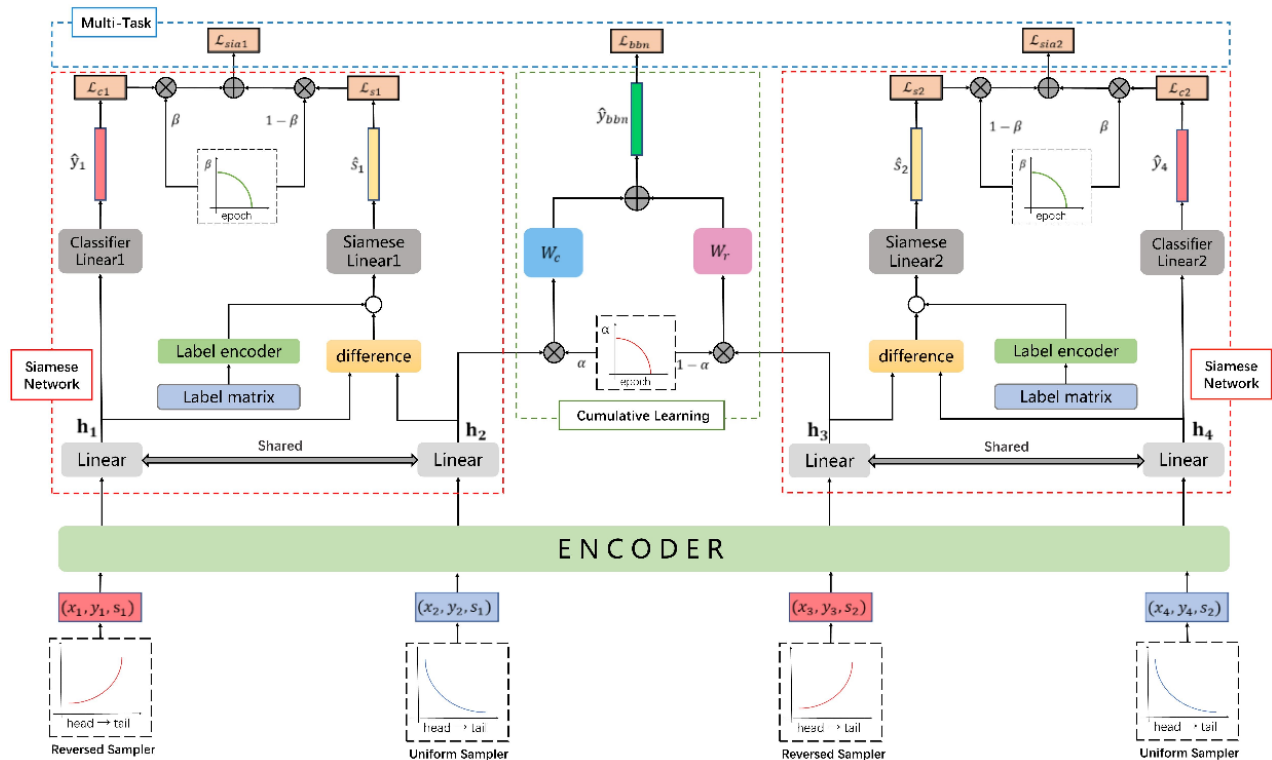


図4 提案手法のモデル [ICONIP 2022]

本研究項目では、シヤムネットワークとバイラテラルブランチネットワークを組み合わせ、表現学習と分類器学習の両方を同時に扱うモデルを提案する。シヤムネットワークでは、表現学習を向上させるためにカテゴリ固有の類似性戦略を提案し、モデルをエンドツーエンドで学習可能にするために新規性動的学習機構を採用する。マルチタスクアーキテクチャを採用し、ヘッドカテゴリとテールカテゴリの両方が適切に学習されるようにする。図4は提案方法のモデルを示す。2つのベンチマークデータセットを用いた実験により、本手法が全体カテゴリとテールカテゴリの性能を向上させることができ、既存方法と比べ、より高い性能を示した。本論文は査読付き人工知能に関する主要な国際会議 ICONIP 2022 に発表した。

[ICONIP 2022] Jiangjiang Zhao, Jiyi Li and Fumiyo Fukumoto, "BBSN: Bilateral-Branch Siamese Network for Imbalanced Multi-label Text Classification", Proceedings of the 28th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2022), Nov. 2022.

[ソースコード] : <https://github.com/ZhaoJiangJiang/BBSN>

## 5 今後の展望

### 【今後の課題】

今後の課題について、引き続き、クラウドソーシングによるラベルから学習する深層学習モデルの解釈可能性に関する解決策、ノイズやワーカーをモデル化する際にインスタンスのコンテキストを統合する手法、難しいタスクのための非常に低品質なクラウドラベルを扱う方法、大量かつ極端にアンバランスなカテゴリに対する解決策などトピックに取り組む。クラウドワーカーの特性、データの品質とモデルの信頼性・解釈可能性を同時に理解することで、クラウドソーシングによる解釈可能で信頼できる深層学習方法が開発され、技術が社会に実装され、安心してAIを利用できる人間中心のAI社会実現に貢献する。地域社会の人間に対して、誰でも自分の個性や知識や能力に合うクラウドソーシングタスクを探し見つけることができるし、誰もが個性や能力を發揮できる環境の整備へ寄与を目指す。地域社会の産業に対して、信頼性が高く解釈可能で効率的な人工知能とデータ解析の導入を推進し、山梨を牽引する産業の育成に貢献して行く。

### 【地域社会への貢献】

#### ①「活躍「やまなし」促進戦略：誰もが個性や能力を發揮できる環境の整備」

クラウドソーシングは不特定多数の非専門家を含む一般人に複雑な実世界仕事を依頼する。一般的には、ウェブサイトでクラウドソーシングサービスを提供する。依頼者（例えば、企業など組織）は、簡単なデータ収集タスクから複雑なシステム開発タスクまで、様々なタスクを依頼できる。作業員（個人）はその様々なタスクを完成して、報酬を得る（図5）。作業員（クラウドソーシング分野ではワーカーと呼ばれてる）として、自宅で作業を進むことのできるため、作業時間の長さや期間が自由に決められるなどのメリットがある。例えば、主婦でも在宅で柔軟な働き方を実現することができる。少子高齢化が進む中で、地域の活力を維持し、経済成長を促していくためには、年齢、性別、国籍、一部の障害や疾病



の有無等に関わらず、これまで住んでいた人も新たに住むようになった人も、誰でも自分の個性や知識や能力に合うクラウドソーシングタスクを探し目的を達成できる。新型コロナウイルス感染症の影響によって引き起こされた収入の減少や物価の高騰に対して、作業者はクラウドソーシングによって、収入が少なからず増加し、家計状況に改善効果も期待できる。これは地域社会に住んでいる人にとって副業の一つ選択肢となる。



図5 クラウドソーシングとタスクの例

ただし、依頼者としてクラウドソーシングによるタスクを依頼する時の問題点は、作業者に非専門家を含むので、作業の作品や収集したデータの質について挙げられる。質の保証は重要であるため、クラウドソーシングデータの品質管理とノイズデータの利用方法の検討が必要である。本研究はクラウドソーシングによる収集したノイズデータを深層学習で使う方法を提案する。クラウドソーシングデータの質と、ノイズのあるクラウドソーシングデータの深層学習技術がよければ、より多くの依頼者が仕事を依頼し、クラウドタスクの数が増える。それにより作業者はより多くのタスクを選択でき、クラウドソーシングとして働く条件を改善できる（好きな仕事内容に関するタスクを選べる、給料が高いタスクを選べる）。それは作業者にとってネット副業として有益であり、誰もが個性や能力を發揮できる環境整備の一環になる。

## ②「攻めの「やまなし」成長戦略：やまなしを牽引する産業の育成」

地域社会の様々な産業に、効率的な機械学習や深層学習に基づく人工知能とデータ解析を導入することは有益である。例えば、農業においては、農作物の品質の向上や産量の予測等；林業においては、森林破壊の監視等；観光業においては、旅行者の支援や人流分析等；医療業においては、健康データの診断の支援等。効果的で良い機械学習や深層学習解決策のため、教師あり学習データの量と質はとても重要である。クラウドソーシングを活用することで、比較的 low コストで大量のデータを効率的に収集できるし、教師あり学習データの量の問題を解決できるが、いまだデータの品質の問題がある。本研究は、クラウドソーシングによる収集したノイズのあるラベルデータから信頼的深層学習モデルを提案する。その提案方法は、地域社会へ様々な産業に、信頼性が高く解釈可能で効率的な人工知能とデータ解析を導入する観点からも有益である。このように、やまなしを牽引する産業の育

成に貢献して行く。

## 6 研究成果の発信方法（予定を含む）

研究成果は、国際会議や論文誌の論文として一般公開，実装されたツールを **Github** に一般公開，ホームページに研究紹介と一般公開の情報を掲載するといった取り組みを行う。公開した論文とソースコードは「4 研究の成果」に共有している。

### [参考文献]

**[LFC 2018]** F. Rodrigues, F. Pereira, "Deep Learning from Crowds", AAI 2018, pp. 1611-1618, 2018.

**[SpeeLFC 2020]** Z. Chen, Z. Chen, H. Wang, H. Sun, P. Chen, T. Han, X. Liu, J. Yang, "Structured Probabilistic End-to-End Learning from Crowds", IJCAI 2020, pp. 1512-1518, 2020.

**[Rationale 2020]** S. Jain, S. Wiegrefe, Y. Pinter, B. C. Wallace, "Learning to Faithfully Rationalize by Construction", ACL 2020, pp. 4459-4473.

**[Li IJCAI 2020]** Jiyi Li, Yasushi Kawase, Yukino Baba, Hisashi Kashima, "Performance as a Constraint: An Improved Wisdom of Crowds Using Performance Regularization", the 29th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2020), pp. 1534-1541, virtual event, Jul. 2020.

**[Li IJCAI 2018]** Jiyi Li, Yukino Baba, Hisashi Kashima, "Simultaneous Clustering and Ranking from Pairwise Comparisons", Proceedings of the 27th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2018), pp.1554-1560, Stockholm, Jul. 2018.