

耐破壊性の観点から見たスマートロジスティクスシステムのリ スク評価モデルの構築

台湾海洋大学(台湾) ○黄 昱凱・杜孟儒 新躍社科大学(シンガポール) 謝 承憲

中国科技大学(台湾) 徐 淵靜 中国科技大学(台湾) 阿部 忠

1. まえがき

人工知能は避けられない変革の波として人々の生活様式を大きく変えつつあります。この人工知能の変革の中で、AI技術の進化よりも重要な問題となり得るのは、「人類はAI技術の変化に追いつけず、調整と適応ができない」という可能性があります。道路交通においても、現在のアシスト付き運転から将来的には自動運転への移行は避けられません。現時点で、自動運転はアシスト付き運転からLevel 3の段階に進んでおり、将来的に自動車が物流および交通システムに導入される際のリスクタイプを評価することが重要な研究課題となっています。その適切な導入がどう行われるべきかを決定する必要があります。

人工知能 (AI) 技術と物流産業との関係は日々密接になっており、特に効率向上、コスト削減、および供給チェーン管理の最適化の面で顕著です。AI 技術は物流産業において既に多くの成功事例を持つ適用分野です。物流産業における AI 技術の主要な適用分野には以下のよう
なものがあります(Chien et al., 2020;

Wilson et al., 2022) :

- (1) 予測分析：機械学習アルゴリズムを使用して貨物の輸送時間や需要量などを予測。
- (2) ルート最適化：AI アルゴリズムを使用して最短または最も経済的なルートを見つける。
- (3) 在庫管理：AI を使用して需要を予測し、より効率的に在庫を管理。
- (4) 自動化ソーティング：コンピュータビジョンと機械学習を用いて貨物を自動的に分類とソート。
- (5) リスク管理：NLP と機械学習を用いて過去のデータとニュースを分析し、供給チェーンのリスクを評価と管理。

- (6) カスタマーサービス：NLP とチャットボットを使用して顧客の問い合わせを自動的に処理。

以上の AI 技術は物流の効率を高めるだけでなく、人為的なエラーを減らし全体のサービス品質を向上させます。将来的には、人々は AI と協力して生産効率を向上させる必要があります(Woschankal., 2020)、物流分野での AI 技術と人間との協働には以下のような異なる状況が存在します：

- (1) 自動運転と人間の運転手の協働：しかし、一部の複雑な状況では、自動運転システムは人間の物流ドライバーの介入を必要とする場合があります。
- (2) 物流データ分析と意思決定：AI は大量のデータを処理と分析できますが、最終的な意思決定は通常、人間の評価と審査が必要です。
- (3) カスタマーサービス：AI のチャットボットは基本的な顧客の問題を解決できますが、より複雑または敏感な問題は人間のカスタマーサービスが必要です。
- (4) 緊急対応：自然災害などの緊急事態において、AI は迅速にデータを分析し、物流操作の緊急調整のガイダンスを提供できますが、最終的な決定と結果に対する責任は人間が持つ必要があります。

新しい技術の導入には、リスクの識別と評価が不可欠であり、リスク分析を通じて新技術がもたらす可能性のある危険性に対処するリスク管理戦略の立案を支援します (Bruzzone and Orsoni, 2003)。本論文では、AHP (Analytic Hierarchy Process) 分析技術を使用して、AI技術が物流分野にもたらす可能性

Constructing a Risk Assessment Model for Smart Logistics Systems from the Perspective of Antifragility

Yu-Kai HUANG, Mengru Tu, Cheng-Hsien HSIEN, Yuan-Ching HSU, and Tadashi ABE

のあるリスクタイプを分析し、その分析結果に基づいて物流産業におけるAI技術のリスク管理対策を提案します。

2. 物流システムにおける人工知能のリスク

人工知能 (AI) 技術の成熟に伴い、多くの産業でAI技術の応用が始まっています。しかし、AI技術はビッグデータ、アルゴリズム、クラウドなどの技術を使用するため、これらの技術自体には一定のリスクが伴います。そのため、アメリカ、EU、中国などの国々は、AI技術の応用に必要な規範を策定し始めています。例えば、EUはAI技術の応用に関して「信頼性のあるAI倫理ガイドライン」を設定しており、そのガイドラインは合法性、倫理の遵守、健全性の三つの要素、四つの原則、七つの要求を含んでいます。図1は本研究の背景を示しています。

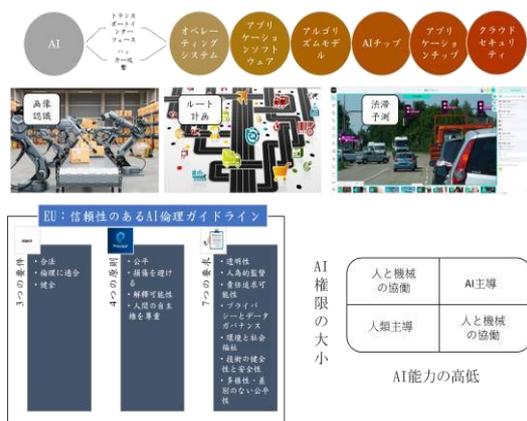


Fig.1 AI 応用のリスクタイプ

一般的に、AIの品質評価は以下の四つの主要なカテゴリで行うことができます：(1) モデルの性能：ビジネス価値とリスクの観測可能な特性、例えばモデルの精度、安定性、概念の妥当性、頑健性など。(2) 社会的影響：社会的価値とリスクの観測可能な特性、例えば公平性、透明性、プライバシー、セキュリティ。(3) 運用の互換性：人間がAIシステムと効率的に協力できる特性、およびAIシステムがビジネス目標を達成するために他のシステムと広範なプロセスで連携できる特性、これにはモデルの機能、文書、協調能力の解釈が含まれます。(4) データ品質：モデルの適応性に影響を与える、モデルの構築とテストに使用されるデータセットの特性、これには欠損データ、データの代表性、生産データの品質が含まれます。

AI技術がますます速い速度で私たちの日常生活に浸透するにつれて、人々はAIシステムが人間と協力して働くことがますます求められています。これは、AIシステムが人間が理解

できる行動を示す必要があるという要求を意味します。AIを物流分野に適用する際には、「法的規制」と「AIユーザーおよび将来の研究開発者の倫理的行動を育む」の2つの側面のリスクに注意が必要です。つまり、倫理的に適切なAI物流システムを構築することは、AIが物流産業に適用される際の最も難しい課題の一つであると言えるでしょう。

3. AHPリスク評価モデル

この研究は、PEST (政治、経済、社会、技術) を分析の枠組みとして、物流システムにおけるAIの適用に関するリスクに対するリスク評価モデルを提案しています。各評価項目は、3つの評価基準を含むもので、図2はこれらの項目の操作的な定義と内容を説明しています。

構面A (政治)：現在、中国、アメリカ、EU、日本などの国々はAI技術に関連する法的規制を提出し、関連するAI技術の適用時の参考基準や関連規制の遵守が必要です。したがって、AI技術を物流フリートの人材管理に適用する場合、関連する法的規制の要件を満たす必要があります。政治構面に関する3つのリスク評価基準の説明は以下の通りです：

- (A1) 法規に適合：AIシステムが法令を遵守し、人権保護、福祉、運用責任、透明性、および濫用リスクの低減を確立する必要があります。
- (A2) 責任追求可能性：責任追求可能性 (可歸責性) は、AIシステムがリスクを引き起こした場合、リスクの種類を特定し、責任を負うべき部門を特定し、システムの改善を行う手段を提供します。
- (A3) 人間による監視：AIシステムが人間の監督が必要な機能を提供する場合、AIが意思決定のリスクやジレンマに直面した場合、いつでも人間がシステムを引き継いで運用を停止できるようになります。

構面B (経済)：どのAI技術の適用も最終的にはビジネス価値の目標に従う必要があります。したがって、AIの人材管理への適用価値は、モデルの性能が人材管理の業務プロセスでどれだけ実現できるかに反映されます。経済的側面に関連する3つのリスク評価基準の説明は以下の通りです。

- (B1) モデルの性能：優れたモデルの性能を持つことは、AIシステムが運輸システムに関連する意思決定と管理業務を支援し、交通管理者が期待する目標を達成できることを意味します。

- (B2) 人と機械の協働：ほとんどのAIシステムは現在、人間と共同で協力する必要があります。したがって、高品質のヒューマンマシンインタラクションと統合インターフェースを構築できれば、AI技術を交通運輸システムの多くの領域で成功裏に適用できるでしょう。
- (B3) AIのコスト：どんなプランもコストの問題を考慮する必要があります。AIシステムのコストにはハードウェアコスト、開発コスト、時間コスト、保守コストなどが含まれ、規模の経済が達成されない場合、AIシステムが高コストで非効率になる可能性があります。

構面C（社会）：AI技術の適用は最終的に社会に影響を与えます。したがって、AI技術の発展は、社会的な負の影響を最小限に抑える必要があります。これには、AI技術が人間社会の倫理規範を遵守し、個人のプライバシーを保護し、社会の公平正義に配慮することが含まれます。社会的側面に関連する3つのAIリスク評価基準の説明は以下の通りです。

- (C1) 倫理に適合：人工知能の適用には、倫理文化の実践に注意するべきであり、開発されたAIシステムは人間の価値観に合致し、AIシステムが社会規範を認識および実行できるようにする必要があります。
- (C2) 公平と正義：どんな技術や政策にも恩恵を受ける人と被害を受ける人がいます。そのため、AIシステムの適用が公平正義を備えているかどうかをさらに考えることは、重要な管理課題となるでしょう。
- (C3) データプライバシー：AIシステムはデータを必要とし、データは過去のビッグデータの収集だけでなく、新しいデータの蓄積も必要です。データのセキュリティと個人情報のプライバシーは、安全に保護される必要があります。

構面D（技術）：「技術」構面は、AI技術自体の最も重要な評価要因に関するものです。AI技術は基本的にはビッグデータとアルゴリズムから得られますが、ますます多くのAIアルゴリズムがモデルの安定性とアルゴリズムの解釈可能性を持つ必要があります。以下は、技術的側面に関する3つのリスク評価基準の説明です。

- (D1) 堅牢性：ロバスト性は、その意思決定が外部環境の干渉に対して比較的

耐性があることを示します。ロバストなAIシステムは、入力データの微調整やデータ品質などの変動要因にある程度の適応性を持ち、決定結果が外部の微小な変化に過度に影響されないようにします。

- (D2) 解釈可能性：ニューラルネットワークのパラメータ調整は通常ブラックボックスと見なされ、したがって、解釈可能なアルゴリズムモデルを構築する方法は、AI技術が解釈可能性を持つ重要なコア技術です。
- (D3) データ品質：アルゴリズムは大規模データを必要とし、大規模データは高速、多様、複雑、疑念などの特性を持っています。したがって、AI技術を交通運輸システム領域に適用する際には、データの品質に注意する必要があります。

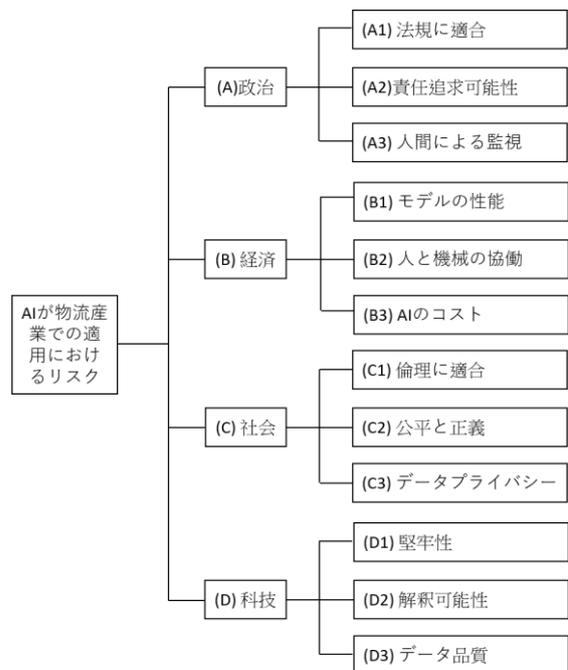


Fig.2 AHP 評価による AI 物流システムのリスクフレームワーク

4. 分析結果および検討

本研究では、AHP専門家アンケートの設計が完了した後、物流業界の専門家4人と人工知能および物流管理分野の学者4人にそれぞれ記入を依頼し、4つの側面と12のリスク評価基準に対する重み評価を行いました。8つの専門家アンケートを回収し、AHP重み計算を行った結果、物流領域でのAI技術のリスク要因の重要性評価を得ました。側面に関して、最も重要

なのは経済です（重み値は0.375）、2番目に重要なのは社会です（重み値は0.301）、技術側面と政治側面はそれぞれ3番目と4番目で、重み値はそれぞれ0.252と0.073です。AHPモデルの重み分析結果は図3に示されており。

政治的な側面では、「責任追求可能性」が最も重要なリスク評価基準であり、次に「人間による監視」と「法規に適合」があります。経済的な側面では、「モデルの性能」が最も重要なリスク評価基準であり、次に「AIのコスト」と「人と機械の協働」があります。社会的な側面では、「倫理に適合」が最も重要なリスク評価基準であり、次に「データプライバシー」と「公平と正義」があります。技術的な側面では、「解釈可能性」が最も重要なリスク評価基準であり、次に「ロバスト」および「データ品質」があります。全体の重み分析において、最も重要な3つのリスク基準はそれぞれ「倫理に適合」、「モデルの性能」、および「AIのコスト」です。

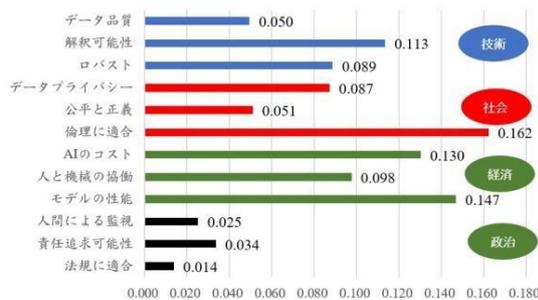


Fig.3 AHP モデルの分析結果

図4はAHPクラスター分析のレーダーチャートです。分群分析の結果から、業者と学者は多くの基準について異なる重要性の見解を持っていることが分かります。業者にとって最も重要なリスク要因は「倫理に適合」ですが、学者にとっては「モデルの性能」が最も重要です。この発見は、AIリスクを軽減する戦略を策定する際に、異なる利害関係者の視点を考慮し、多様な視点を持つリスク管理戦略を提案する必要があることを示しています。

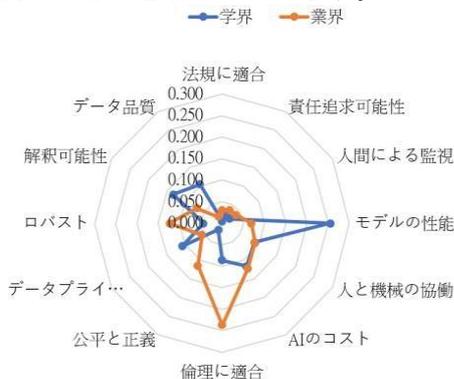


Fig.4 AHP クラスター分析

5. まとめ

AI技術とビッグデータ分析関連技術が交通運輸分野で普及するにつれ、派生するサービス形態もますます多様化しています。スマートロジスティクスシステムの発展には、法律の専門家が交通法律の責任の帰属を検討し、自動運転の事故における責任の帰属を明確にする必要が生じています。また、保険業者も既存の契約条件の適切性を検討する必要があり、立法機関も完全な無人運転の安全基準をどのように設定するかを決定する必要があります。AI技術と人間は多くの領域や状況で協力の機会があり、この協力モデルは双方の利点を活かすだけでなく、一部の状況では双方の不足を補完することができます。AIの影響が拡大するにつれて、解釈可能性と倫理問題がますます注目されています。本文では、AI技術によって構築されたスマートロジスティクスシステムを研究ケースとし、その分析結果が「人間がスマートトランスポートシステムにおけるAI技術のリスクをどのように低減するか」という理解を深めるのに役立つことが示されており、また、構築されたモデルの関連変数は政府の関連機関にとって、スマートロジスティクスシステムの構築においてAIリスク管理に影響を与える要因を理解するのに役立つでしょう。

参考文献

- 1) Bruzzone, A., & Orsoni, A. (2003, March). AI and simulation-based techniques for the assessment of supply chain logistic performance. In 36th Annual Simulation Symposium, 2003. (pp. 154164). IEEE.
- 2) Chien, C. F., Dauzère-Pérès, S., Huh, W. T., Jang, Y. J., & Morrison, J. R. (2020). Artificial intelligence in manufacturing and logistics systems: algorithms, applications, and case studies. *International Journal of Production Research*, 58(9), 2730-2731.
- 3) Wilson, M., Paschen, J., & Pitt, L. (2022). The circular economy meets artificial intelligence (AI): Understanding the opportunities of AI for reverse logistics. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 33(1), 9-25.
- 4) Woschank, M., Rauch, E., & Zsifkovits, H. (2020). A review of further directions for artificial intelligence, machine learning, and deep learning in smart logistics. *Sustainability*, 12(9), 3760.