



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	深層学習と知識グラフ解析に基づくハイブリッド推薦システムに関する研究
Author(s)	櫻井, 慶悟
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第16673号
Issue Date	2025-09-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16673
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/98283
Type	doctoral thesis
File Information	Keigo_Sakurai_abstract.pdf, 論文内容の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（情報科学） 氏名 櫻井 慶悟

学 位 論 文 題 名

深層学習と知識グラフ解析に基づくハイブリッド推薦システムに関する研究

(A study on hybrid recommender systems based on deep learning and knowledge graph analysis)

本論文は、深層学習と知識グラフ解析に基づくハイブリッド推薦システムに関する研究の成果をまとめたものである。

現代の情報社会において、ユーザがアクセス可能なアイテムは音楽、映像、書籍など多岐にわたり、その量は日々増加している。この状況は「情報過多」と呼ばれ、ユーザの探索コストや判断負荷を高める要因である。これに対処する技術として、ユーザのアイテムに対するインタラクション履歴（以降、履歴）やアイテムの属性をもとにユーザの嗜好に適するアイテムを提示する推薦システムが広く活用されている。推薦システムの代表的な手法として、協調フィルタリングおよびコンテンツベースフィルタリングが挙げられる。協調フィルタリングは、履歴の類似度から嗜好が類似する他のユーザを特定し、推薦を行う手法である。この手法は、高精度な推薦が可能である一方で、履歴が少ないユーザに対してはコールドスタート問題が発生し、推薦精度の低下を招く。コンテンツベースフィルタリングは、ユーザが高評価したアイテムと類似属性を持つアイテムを推薦する手法である。この手法では、ユーザがインタラクトしたアイテムの属性情報を用いるため、類似ユーザの特定が不要となり、結果としてコールドスタート問題を回避可能である。しかしながら、ユーザの多面的・潜在的な興味を捉えることが困難であり、十分な推薦精度が得られないケースも少なくない。このように、協調フィルタリングとコンテンツベースフィルタリングは、それぞれに利点を持つ一方で、利用可能な情報の制約により、必ずしもユーザに適した推薦が実現されるとは限らない。

この課題に対する従来の対応策として、協調フィルタリングとコンテンツベースフィルタリングを統合したハイブリッド推薦システムが提案されている。ハイブリッド推薦は、ユーザの履歴から得られる他のユーザとの類似性と、アイテムが有する属性情報に基づく個人の嗜好の双方を統合することで、推薦精度の低下といった課題の緩和に有効であるとされる。ハイブリッド推薦を実現する有効な基盤として、ユーザ・アイテム・属性間の関係をグラフ構造で表現する知識グラフが注目されている。従来手法では、機械学習によって知識グラフを解析することで、複雑な関係を構造的に捉え、ユーザとアイテム間の潜在的なつながりを効果的に抽出することが可能である。これにより、単一の手法による推薦と比較して、より複雑で高次の関係に基づく推薦が実現される。しかしながら、従来手法には依然として、1) ユーザの目的や状況に応じて推薦方針を柔軟に制御することの困難さ、および 2) コールドスタート状況における意味的推論能力の限界という 2 つの実用上の課題が残存する。まず、課題 1) について、従来手法では知識グラフを用いた推薦において、ユーザの目的や状況といった文脈情報を明示的に入力・反映する仕組みが限定的であり、それに応じた嗜好の変動を柔軟に推薦結果へ反映することが困難であった。例えば音楽ドメインでは、同一ユーザにおいても、時間帯や状況に応じて好まれる楽曲が異なるが、従来手法ではこれらに起因する明示的な意図を推薦に反映することが難しい。さらに、課題 2) について、実データに基づいて構築された知識グラフは、推薦に有効な情報を十分に含んでいない可能性があるため、意味的關係がスパースになりやすい。このス

パース性により、潜在的に関連したアイテム間の関係が限定されるため、依然としてユーザの履歴が乏しいコールドスタート状況では、嗜好に合致するアイテムとの意味的関係を把握・抽出することが難しく、適切な推薦を行うことが困難となる。

そこで、本論文では、上記の課題の解決を目的として、ユーザの意図やコールドスタート状況に対応可能な、深層学習と知識グラフ解析に基づくハイブリッド推薦システムを提案する。まず、課題 1) への対応として、音楽ドメインにおいて実用性の高い推薦課題の一つであるプレイリスト生成タスクに着目し、ユーザの明示的な意図を強化学習の報酬関数に反映し、推薦方針を柔軟に制御可能なプレイリストを生成・提示する手法を提案する。具体的に、本手法では、知識グラフを活用して楽曲間のジャンルや制作者といった意味的関係を特徴量として抽出し、さらに、ユーザの意図に応じてパラメータを変更可能な報酬関数を設計することにより、明示的な入力に応じた推薦方針の制御を可能としている。このように、ユーザ意図に応じて柔軟に構成される報酬設計を導入することにより、従来手法では困難であった、目的や状況に応じた推薦の実現を可能としている。次に、課題 2) への対応として、知識グラフの意味的関係を補完する外部情報を活用した 2 つの手法を提案する。まず、音響特徴を用いた知識グラフの拡張に基づく推薦手法を提案する。本手法では、楽曲が有する音響特徴を知識グラフに反映させることで、音響的に類似した楽曲間に新たなエッジを追加し、アイテム間の意味的関係を拡張する。これにより、コールドスタート状況においても、音響に対する嗜好に基づいた推薦が可能となり、推薦精度の向上が期待できる。続いて、大規模言語モデル (Large Language Models, LLM) を知識グラフ推論に活用した推薦手法を提案する。具体的に、ユーザの履歴を LLM に入力し、LLM の知識に基づいてユーザの嗜好や関心に関する高次の特徴を予測し、知識グラフ上の意味的推論に活用する。これにより、履歴の少ないユーザに対しても、知識グラフ上で潜在的に関連するアイテムとの意味的関係を推定することが可能となり、スパースな関係性に起因する推薦精度の低下の抑制が期待できる。

本論文の構成は以下の通りである。第 1 章では、本論文の研究背景について述べる。第 2 章では、本研究の関連研究として従来のハイブリッド推薦システムについて紹介し、本論文で解決すべき課題を明らかにする。第 3 章では、知識グラフを用いた強化学習に基づく楽曲プレイリストの生成と提示を行う手法を提案し、ユーザの明示的な意図に応じたプレイリストを生成可能であることを確認する。第 4 章では、音響特徴を導入した知識グラフを用いた深層強化学習に基づく楽曲推薦手法を提案し、コールドスタート問題が緩和されることを確認する。また、第 5 章では、LLM の知識を活用した知識グラフに基づくアイテム推薦手法を提案し、実験により、その有効性を確認する。最後に、第 6 章において、本論文のまとめと今後の課題について述べる。

以上を要約すると、本論文では、ユーザの目的や状況に応じた柔軟な推薦制御の困難さやコールドスタート下での意味的推論の限界といった課題に対応可能な深層学習と知識グラフ解析に基づくハイブリッド推薦システムを提案した。知識グラフと強化学習を組み合わせることにより、ユーザの明示的な意図に応じた推薦方針の柔軟な制御を実現するとともに、音響特徴や LLM によって補完された知識を統合的に活用することで、コールドスタート状況においても高い精度の推薦を可能とした点に本研究の貢献がある。さらに、音楽ドメインに加え、一般的な推薦タスクに対する実データを用いた評価実験を通じて、提案手法の有効性が定量的に示された。