

東京大学公共政策大学院
「公共政策の経済評価」 2024 年度

千歳線輸送品質向上事業に関する費用便益分析

2025 年 3 月

経済政策コース 2 年 磯貝初奈
経済政策コース 1 年 崔 振洋
経済政策コース 1 年 志岐晃誠
経済政策コース 1 年 遠山瑛介

概要

本研究は、千歳線輸送品質向上事業の費用便益分析を実施し、政策的な妥当性を評価することを目的としている。千歳線は札幌市と新千歳空港を結ぶ北海道の主要な鉄道路線の一つであり、国内外の航空旅客の増加に伴い、その輸送能力やサービス品質の向上が求められている。特に、新千歳空港の利用者数が急増する中、鉄道アクセスの利便性を改善することが地域経済の発展にも寄与するという観点から、鉄道輸送の効率化と利便性向上のための政策が検討されている。

本研究では、千歳線の輸送品質向上を図るための二つの施策、「最高速度引き上げ事業」と「新千歳空港駅スルー化事業」について、費用便益分析を実施し、それぞれの政策の経済的合理性を評価する。費用便益分析の枠組みとして、時間短縮効果、混雑緩和効果、乗換時間削減による利便性向上を考慮し、B/C（費用便益比）を算出することで各事業の妥当性を検討した。

分析の結果、最高速度引き上げ事業については、列車の速度向上による移動時間短縮が利用者にとっての大きな便益となり、費用対効果が高いことが示された。本施策の実施によって、新千歳空港へのアクセス時間が短縮されることで、空港利用者の移動時間が削減されるとともに、札幌市と空港の間の鉄道輸送がより魅力的な選択肢となることが期待される。特に、ビジネス利用者や観光客にとって、移動時間の削減は利便性向上の大きな要因となることから、この施策の導入は経済的に合理的であると判断された。

一方、新千歳空港駅スルー化事業については、便益費用比が低く、実施の妥当性に疑問が生じる結果となった。本事業は、新千歳空港駅を通過する形で道南・道東方面への直通運行を可能にするものであり、乗換の手間を削減することで利便性の向上が期待される。しかしながら、インフラ整備に要するコストが非常に高額であることに加え、便益として見込まれる混雑緩和や時間短縮効果が限定的であることから、現時点では費用対効果が低いと結論付けられた。

政策的な示唆として、本研究の結果は、千歳線輸送品質向上を図る上での戦略的な意思決定に資するものである。第一に、最高速度引き上げ事業は、比較的低コストで実施可能であり、便益が大きいため、優先的に進めるべき施策であることが確認された。第二に、新千歳空港駅スルー化事業については、現状では便益費用比が低いことから、当面の間は慎重な判断が求められる。第三に、代替案として、既存の鉄道サービスの運行頻度の増加や、ダイヤ改正による混雑緩和策を検討することが有効である可能性が示唆された。

本研究の成果は、新千歳空港へのアクセス改善に向けた政策決定の一助となるとともに、今後の公共交通政策の方向性を示す重要な知見を提供するものである。特に、費用便益分析の結果を踏まえた意思決定の重要性を示唆し、将来的な交通インフラ投資のあり方についての議論の出発点となることが期待される。

目次

第1節	はじめに	1
第2節	背景	2
2.1.	現状分析	2
2.2.	問題意識	3
2.3.	政策方針	4
2.4.	先行研究	4
第3節	析手法	6
3.1.	ベンチマークケースの設定	6
3.2.	前提条件の整理	6
3.2.1.	鉄道需要量の予測手法	6
3.2.2.	推計期間	10
3.2.3.	費用主体及び便益主体の整理	10
3.3.	千歳線最高速度引き上げ事業の費用便益分析	11
3.3.1.	費用項目の計算方法	11
3.3.2.	便益項目の計算方法	15
3.3.3.	感度分析	18
3.4.	新千歳空港駅スルー化事業の費用便益分析	22
3.4.1.	費用項目の計算方法	22
3.4.2.	便益項目の計算方法	23
3.4.2.1.	混雑緩和便益	23
3.4.2.2.	乗換利便性向上便益	24
第4節	分析結果	25
4.1.	千歳線最高速度引き上げ事業	25
4.2.	新千歳空港駅スルー化事業	25
4.3.	千歳線最高速度引き上げ事業&新千歳空港駅スルー化事業	26
4.4.	感度分析	26
4.4.1.	札幌駅-新千歳空港駅間における最高速度引き上げ事業	26
4.4.2.	新千歳空港駅スルー化事業&最高速度引き上げ事業	33
第5節	結論	36
5.1.	政策的含意	36
5.2.	今後の課題	36

謝辭.....	38
参考文献.....	39
付録.....	43

第1節 はじめに

COVID-19の影響により一時的に大幅な減少を見せた航空需要は、アフターコロナの時代に突入した現在、急速に回復しつつある。特に国内外の移動制限が緩和され、観光需要が再び高まる中、日本各地の主要空港では利用者の増加が顕著となっている。この傾向は北海道の玄関口である新千歳空港においても例外ではなく、国内外の旅行者の増加が観測されている。

新千歳空港は北海道最大の空港であり、道内外を結ぶ重要な交通拠点である。特に観光産業が基幹産業の一つである北海道において、新千歳空港の利便性向上は地域経済の発展に直結する要素といえる。しかしながら、空港利用者の増加に伴い、周辺の交通インフラにおいて過剰な混雑が発生しており、利用者の移動の円滑化が求められている。

現在、新千歳空港と札幌市中心部を結ぶ主要な交通手段として、JR千歳線（快速エアポート）、バス、タクシー、レンタカーなどが挙げられる。中でも、JR千歳線の混雑が深刻化しており、利用者からの不満も散見される。このため、新千歳空港のアクセス改善が喫緊の課題と考えられている。

本稿は、本節を含めて、全5節から構成される。第2節では、千歳線及び沿線地域における実状について纏め、その特徴及び問題点を詳述する。また、先行研究の内容を概観し、本分析の意義を明らかにする。第3節では、千歳線輸送品質向上事業の費用便益分析を実施するに当たり、費用及び便益に係る諸条件を整理し、分析手法を設定する。特に、千歳線の乗客数や鉄道施設の工事費において、利用可能な情報の制約が存在しているため、分析に用いるデータの妥当性を検証する。第4節では、費用便益分析の結果を提示し、政策方針を評価する。そして、第5節では、本稿の分析から得られた成果及び限界を結論として総括し、千歳線輸送品質向上に向けた政策を提示する。

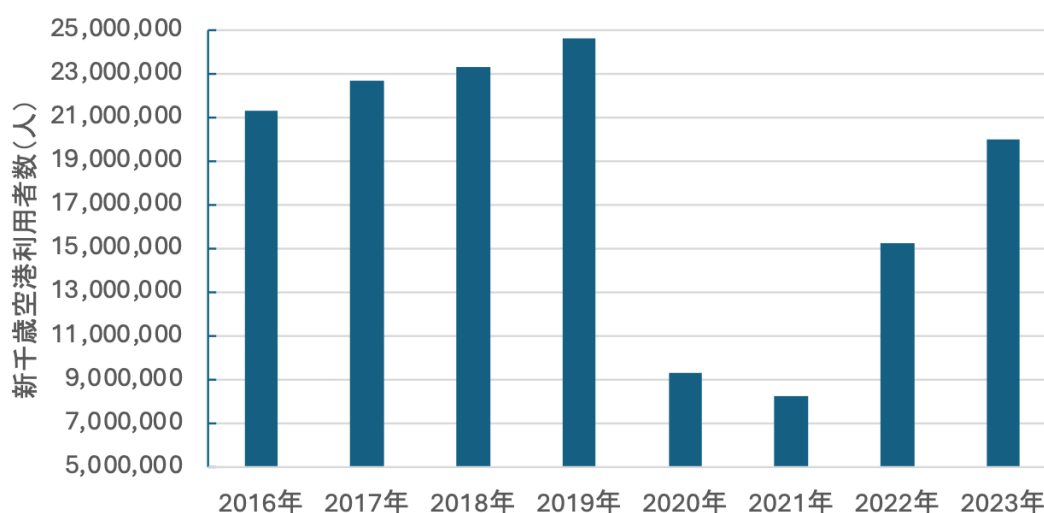
第2節 背景

2.1. 現状分析

新千歳空港の利用需要の増加や沿線地域の開発の影響を受け、千歳線ではさらなる需要の高まりが予測されている。新千歳空港は北海道の主要な空の玄関口として、観光客やビジネス利用者を含む多様な利用者を迎えており、その重要性が年々増している。

特に、図1に示すように、新千歳空港の利用者数は、2020年のコロナ禍で一時的に減少したものの、2023年以降はコロナ禍前の水準を超える勢いで回復している。JR北海道（2024）によると2024年11月のデータでは、同月の利用者数は2019年同月比で108.1%に達しており、コロナ禍以前を大幅に上回る増加を見せている。この傾向は、新千歳空港駅の利用者数がコロナ禍を脱し、さらに以前よりも高い水準にあることを示唆している。

[図1: 新千歳空港利用者数の推移]



新千歳空港(2025), 読売新聞オンライン(2024)より筆者作成

さらに、千歳線沿線では、次世代半導体工場や商業施設の開発、観光地としての魅力向上が進行中であり、これらが地域全体の交通需要に影響を与えている。千歳市（2025）によると、同市では次世代半導体工場ラピダスの建設が進んでおり、2025年4月には試作ラインの稼働が予定されている。このような大規模な産業プロジェクトは、従業員や関連事業者による通勤需要を生み出し、千歳線の利用者増加につながる可能性がある。実際に通勤利用者が増加した例としてTSMCの半導体工場が進出した熊本県の事例が挙げられる。NHK（2024）によると、沿線に半導体工場が立地する豊肥本線では利用者が急増したことで熊本県とJR九州が複線化の協議を検討していると報道された。このことから半導体工場が本格稼働する千歳市を通る千歳線でも利用者の増加が見込まれると考えられる。

また、日本経済新聞（2024）によると千歳線沿線の北広島市に北海道ボールパークFビレッジが2023年3月に開業し、2024年には約418万人の来場者を記録している。千歳線沿線に所在するこの施設は、野球場を中心とした複合型のエンターテインメント施設であり、地域外からの観

光客誘致にも寄与している。加えて JR 北海道は 2028 年にボールパーク新駅の開業を目指し、工事に着工することも表明した¹。さらに、北海道医療大学は 2028 年に北海道医療大学のキャンパスを F ビレッジに移転することを表明しており、先述の F ビレッジと合わせて地域全体の鉄道需要が大幅に増加することが予想される²。

一方で、北海道新幹線の開業が 2030 年度末を目指して進められているものの、一部工事において遅れが生じており、完成時期が不透明な状況にある。この新幹線の開業は、長期的には千歳線の役割や需要に影響を与える可能性があるが、短期的には新千歳空港へのアクセス路線として千歳線が引き続き地域の主要な交通手段としての役割を担うことになる。

これらの要因を総合すると、新千歳空港を中心とした地域の交通需要は今後も拡大することが見込まれる。特に、空港利用者数の増加に加えて、沿線施設の開発や新たな交通プロジェクトの進展が、新千歳空港と札幌都心アクセスの役割に留まらない千歳線の利用状況に大きな影響を与えると考えられる。このような背景の中で、千歳線の輸送能力をどのようにして向上させるかが重要な課題となっている。

2.2. 問題意識

新千歳空港駅における千歳線の輸送力は限界に達しており、混雑が深刻な課題となっている。この問題は、駅や路線の物理的な制約によってさらに複雑化している。新千歳空港駅-南千歳駅間では、空港に向かう列車と空港から出発する列車が単一の線路を共有しているため、列車の増発が困難な状況にある。また、この区間を走行する列車には、空港利用者向けの列車だけでなく、貨物列車や空港を経由しない特急列車も含まれており、運行の調整が難しい。

さらに、新千歳空港駅のホームの長さが短いため、6 両編成以上の列車を停車させることができない。この制約は、需要の増加に伴い列車の長編成化を進めることで混雑を緩和するという選択肢を事実上排除している。これらの物理的な制約が、千歳線の輸送能力の向上を妨げる主要要因となっている。

また、道南方面や道東方面に向かう特急列車は現状、新千歳空港駅を経由していない。そのため、道南や道東方面から新千歳空港に向かう場合、または新千歳空港からこれらの地域に向かう場合には、南千歳駅での乗り換えが必要となる。この乗り換えの手間は、利用者にとって不便をもたらし、新千歳空港へのアクセス全体の利便性を低下させる要因となっている。

これらの問題点は、千歳線を利用する旅行者や地域住民にとって日常的な不便をもたらしているだけでなく、千歳線の役割や価値にも影響を及ぼしている。特に、新千歳空港は北海道の主要な交通拠点であるにもかかわらず、そのアクセスの複雑さが、観光客やビジネス利用者の満足度を低下させるリスクを伴っている。また、空港利用者の増加が予測される中で、現行の輸送システムでは需要に対応できない可能性が高まっており、輸送品質の向上が喫緊の課題として浮上している。

¹ JR 北海道(2024)。

² 北海道医療大学(2023)。

このように、千歳線の輸送品質向上を図るためには、物理的な制約や運行上の課題を克服し、空港アクセスの利便性を向上させるための具体的な施策が求められている。特に、列車の増発や長編成化が不可能な現状において、運行効率を向上させるための抜本的な対策が必要である。これには、南千歳駅での乗り換えを不要にするための路線改良や新千歳空港駅をスルー化する施策が考えられる。

また、乗り換えに伴う利便性の低下を改善するためには、新千歳空港駅への直通列車の運行やプラットフォームの拡張が検討されるべきである。これらの施策により、千歳線の輸送能力を向上させるとともに、利用者の利便性を向上させることが期待される。

2.3. 政策方針

千歳線の混雑緩和と輸送品質向上を目指すため、本研究では「千歳線最高速度引き上げ」と「新千歳空港駅スルー化」の二つの政策案を設定する。これらの政策は、JR 北海道グループの中期経営計画 2026 にも示されている輸送品質向上の取り組みと整合しており、計画に基づく具体的な施策として位置づけられる。両政策を個別にまたは組み合わせて実施することで、それぞれの便益が改善される可能性がある。本研究では、それぞれの政策案の組み合わせを政策代替案として検討し、千歳線の輸送品質向上に最適なアプローチを提言する。

まず、千歳線最高速度引き上げ政策では、札幌駅と新千歳空港駅間の列車の所要時間を現行の 33 分から 25 分に短縮することを目指している。この目標を達成するために、軌道強化や線形改良、高架化工事などが計画されている。所要時間の短縮により、通勤・観光の利便性が向上し、千歳線全体の利用者満足度が高まることが期待される。特に、時間短縮による便益は、鉄道利用者にとっての大きな価値となる。費用については、線路改良や軌道強化、高架化といった具体的な工事に対して計上される。

次に、新千歳空港駅スルー化政策では、現在南千歳駅での乗り換えが必要な道南・道東方面へのアクセス改善が主要な目標とされている。この政策では、新千歳空港駅をスルー運行可能にするための線路の敷設やホーム改良、トンネル建設などが計画されている。これにより、道南や道東方面への直通列車が可能となり、乗り換えの手間が解消されるとともに、乗客の利便性向上が見込まれる。また、スルー化によって空港利用者の移動時間が短縮されるだけでなく、混雑緩和も期待されている。一方で、線路敷設やホーム改良に加え、トンネル建設といった大規模なインフラ整備が必要であり、そのための多額の建設費用が見込まれている。

このように、「新千歳空港駅スルー化」と「千歳線最高速度引き上げ」の二つの政策は、それぞれ異なる便益をもたらすものであり、本研究では千歳線の現状を改善するための具体的な選択肢を提示する。

2.4. 先行研究

本研究における分析は、国土交通省鉄道局が策定した『鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル』（2012）を主要な指針としている。このマニュアルは、日本国内の鉄道プロジェクトにおける費用便益分析の枠組みを国際的な方法論と調和させながら、日本の特性に適合した形で体系化している。具体的には、鉄道プロジェクトの便益と費用を定量的に評価する手法を提供し、プロ

ジェクトの一貫性や信頼性を確保するための基盤となっている。この手法は、プロジェクト間の比較可能性を向上させるとともに、鉄道プロジェクト特有の要素を包括的に評価することを目的としている。

先行研究の中では、鉄道に関する費用便益分析が主に都市鉄道の延伸や新幹線の整備に焦点を当ててきた一方で、空港アクセス改善を直接的に評価した研究は限られている。空港連絡鉄道のスルー化は国内では稀少な事例であり、従来の分析事例との比較において新たな視点を必要としている。これに関連して、本研究では重力モデルを用いて交通需要を推定する方法を採用した。このモデルは、駅間の利用者数を推定する際に距離や人口などの要因を考慮し、現実 に即した需要推定を可能にするものである。

本研究では、これまで未評価であった空港連絡鉄道のスルー化という政策案に対する費用便益分析を行い、JR 北海道の政策決定に資する知見を提供することを目指している。国内外の事例を踏まえた上で、スルー化が地域社会や空港利用者に与える影響を定量的に評価し、政策の実行可能性を検討するという新たなアプローチを採用している。

さらに、JR 北海道が掲げる『JR 北海道グループ中期経営計画 2026』において示された輸送品質向上の目標に基づき、既存の鉄道インフラを最大限に活用する方法を模索している。この計画では、札幌-新千歳空港間の輸送力の向上が重要な課題として位置付けられており、具体的な施策として最高速度の引き上げやスルー化が提案されている。本研究は、これらの施策を具体的なデータに基づいて分析し、最適な政策案を提示することを目的としている。

以上を踏まえ、本研究の意義は以下の三点に集約される。第一に、空港連絡鉄道のスルー化という国内では稀少な政策案を対象にした分析を行うことで、これまでの鉄道プロジェクト分析に新たな視点を提供する点である。第二に、重力モデルを活用することで、鉄道需要の予測精度を向上させ、現実的な政策評価を可能にした点である。第三に、JR 北海道の中期経営計画との整合性を図り、政策提言を通じて地域社会や利用者に対する具体的な影響を示した点である。したがって、本研究は既存の評価手法に基づきながらも、国内の鉄道プロジェクトの枠を超えた新しい知見を提供し、政策立案や実施のための重要なデータを提供する役割を果たしている。

第3節 分析手法

3.1. ベンチマークケースの設定

本研究では、JR 北海道の発表資料を参照し、表 1 のような分析的枠組みを設定する。千歳線最高速度引き上げ事業及び新千歳空港スルー化事業を実施しない場合を Without ケースとし、各政策を行った場合を With ケースとすることで、その費用と便益を比較する。また、With ケースのうち、千歳線最高速度引き上げ事業のみを実施する場合を With 1、新千歳空港スルー化事業のみを実施する場合を With 2、千歳線最高速度引き上げ事業及び新千歳空港スルー化事業を同時に実施する場合を With 3 とする。

[表 1: 分析的枠組み]

	Without	With 1	With 2	With 3
千歳線最高速度引き上げ	×	○	×	○
新千歳空港スルー化	×	×	○	○

出典: JR 北海道（2023）「JR 北海道グループ中期経営計画 2026」及び JR 北海道（2019）「JA 北海道グループ長期経営ビジョン・中期経営計画・事業計画等」より筆者作成

3.2. 前提条件の整理

3.2.1. 鉄道需要量の予測手法

鉄道需要量の予測においては、各駅間のフローを適切にモデル化することが重要である。本項では、鉄道利用者の流動を推定するために採用した手法について説明し、そのモデルの特性と仮定について詳述する。

本研究では、Ortúzar and Willumsen (2024) における重力モデルを参照し、千歳線区間(札幌駅-新千歳空港駅)内任意の i 駅- j 駅間における乗客数（駅間の利用者フロー）を下記の式より算出する。

$$x_{ij} = k \cdot \frac{P_i \cdot P_j}{d_{ij}^n}$$

ただし、各変数の定義は表 2 の通りである。

[表 2: 駅間利用者フローにおける変数]

k	正規化定数
P_i	千歳線区間内の i 駅の利用者[人]
P_j	千歳線区間内の j 駅の利用者[人]
d_{ij}	i 駅- j 駅間の距離
n	距離減衰パラメータ（今回は 1.5 とする）

先行研究によると、都市圏における鉄道利用の距離減衰パラメータは 1.5～2 の範囲で設定されることが多い。一般的に、実際の移動データを用いた回帰分析を通じて、距離減衰パラメータを推定する。しかし、本研究では、シミュレーションによるフロー推定を行うため、事前に距離減衰パラメータを仮定する必要がある。また、重力モデルの基本構造では、OD 間の移動抵抗（距離や時間など）が大きくなるほど交通量が減少するという特性を持つ。しかし、実際の鉄道利用データでは、必ずしもこの傾向が明確に表れるとは限らない。そこで、本研究では、距離減衰よりも利用者数の影響を重視し、距離減衰パラメータを 1.5 に設定した。その理由として、以下の 3 点を挙げる。

(1) 札幌と新千歳空港の中心的な役割

札幌駅と新千歳空港駅は、それぞれ都市圏と空港利用の主要拠点として機能しており、利用者数が圧倒的に多いだけでなく、北海道全体の経済活動や観光業において重要な役割を果たしている。そのため、これらの駅を中心としたフローの推定においては、距離よりも駅自体の利用者数が主導的な要因となると考えられる。

(2) 中間駅の住宅街と日常利用の特性

新札幌、北広島、恵庭、千歳、南千歳といった中間駅は、それぞれ周辺に住宅街や商業施設が多く、通勤や通学といった日常的な利用者が多数を占めている。これらの地域間の移動は、距離による減衰よりも「駅の利用者数」によって大きく決定される傾向がある。特に札幌への通勤需要が強く、距離減衰の影響が小さく見えるケースが多いと考えられる。

(3) 運行本数と利便性の均質性

快速エアポートは、札幌から新千歳空港までの区間を一定の頻度で運行しており、利用者にとって利便性の格差が小さいといえる。また、経済的な重心は札幌に集中しており、新千歳空港を含む沿線地域には広がっていない。このため、空港利用者以外の主体、特に通勤者の動向を考慮する際には、単純な距離だけでなく「駅ごとの集客力」が利用者フローを決定づける重要な要素となっていると考えられる。

また、正規化定数 k について、フローの合計が実際の利用者数と一致するよう算出した。すなわち、正規化定数 k は下記の式で表される³。

$$k = \frac{\text{flow_total}}{\text{flow_sum}}$$

³ 正規化定数 k とは、モデルの出力フローが観測データと一致するようにスケール調整を行うための係数である。具体的な導出について、付録(1)に参照されたい。

ここで、flow_total は片道フローの総利用者数（空港利用以外の利用者数⁴）を、flow_sum は重力モデルによる未正規化フロー行列の総和を表す。

以上のように、本研究では鉄道需要量の予測において距離減衰を無視した重力モデルを採用し、駅ごとの利用者数を主導的な要因としてフローを推定した。この手法を通じて、札幌都市圏から新千歳空港に至る区間の特性を反映しつつ、地域的特性を十分に捉えるために調整を行なった。

故に、片道フローの総利用者数、千歳線区間内の任意の駅における利用者数、 i 駅と j 駅間の距離といったデータが必要である。以下では、それぞれのデータを整理し、鉄道需要量を算出する。

まず、片道フローの総利用者数（flow_total）を求める。札幌から新千歳空港までの区間における利用需要を簡略化するため、空港需要と地域の通勤需要に着目する。快速エアポートの年間利用者数は、次のように分解される。

快速エアポートの年間利用者

＝ 片道フローの総利用者数（通勤需要）＋空港直行利用者（航空需要）

なお、快速エアポートの年間利用者は、JR 北海道（2024）の記者会見資料に基づき、21,219,200 人と算出した。この数値は、現時点（2024 年 12 月）から過去 1 年間のデータに基づいており、その詳細については表 3 を参照されたい。

[表 3: 快速エアポート年間利用者の詳細]

月	月間平均利用者数[人]	日数	月間合計利用者数[人]
1	50,500	31	156,5500
2	58,200	29	168,7800
3	54,400	31	168,6400
4	55,000	30	165,0000
5	55,400	31	171,7400
6	62,000	30	186,0000
7	62,600	31	194,0600
8	61,300	31	190,0300
9	63,000	30	189,0000
10	59,200	31	183,5200
11	60,400	30	181,2000
12	54,000	31	167,4000

⁴ 空港利用以外の利用者として通勤・通学利用や日常利用が挙げられるが、本研究では、利用者の具体的な目的を把握することが困難であるため、仮定として空港利用以外の利用者を「通勤者」としてモデル化している。

合計	21,219,200
----	------------

出典: JR 北海道 (2024) 「ご利用状況の変化について (定例会見資料)」より筆者作成

また、本研究では直行利用者割合 (航空需要) は全員の 50% と仮定し、片道フローの総利用者数 (通勤需要) は、10,609,600 人と推定した。その仮定の理由について、3.3.3 感度分析の「(2) 直行者割合に対する感度分析」に参照されたい。

さらに、国土交通省(2021)のデータに基づき、千歳線区間内の任意の駅における利用者数は下記の表 4 のように示される。

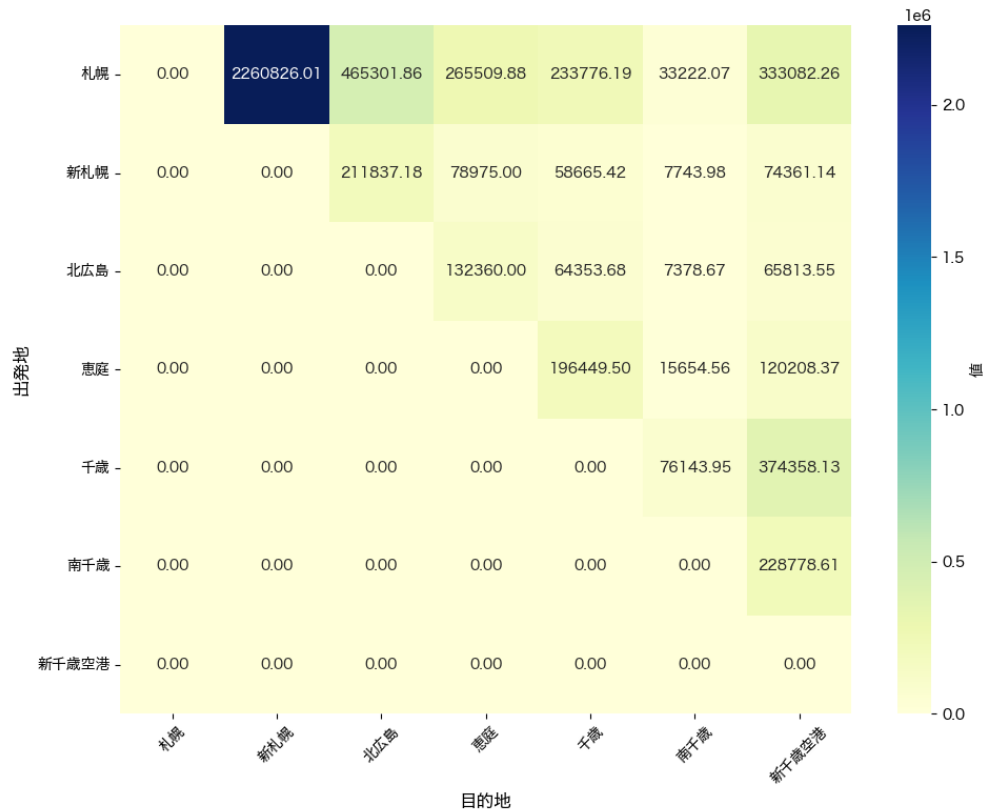
[表 4: 千歳線区間における各駅の乗降客数]

駅名	日間利用者数[人]
札幌	196,244
新札幌	28,842
北広島	15,410
恵庭	14,750
千歳	18,150
南千歳	3,112
新千歳空港	35,420

出典: 国土交通 (2021) 「駅別乗降客数データ」より筆者作成

よって、重力モデルにより、通勤需要を予測するために、図 2 のような利用者フロー行列[人]が得られる。ただし、これは片道の利用者フローであり、札幌方面から新千歳空港方面への移動を示す。加えて、本研究では、需要フローが往路と復路で対称であると仮定する。したがって、行列の転置操作を行うことで、出発地と目的地を入れ替えた需要量 (つまり、逆方向の鉄道需要量) を推定する。転置行列は、元の行列における出発地と目的地の対応を逆転させるため、現在の行列が '札幌から新千歳空港' の片道需要を表している場合、転置行列は '新千歳空港から札幌' の需要を示す。

[図 2: 利用者フロー行列]



注：シミュレーション結果に基づいて筆者作成

なお、鉄道では既存需要の影響を受け、利用者の大幅な変動が見込みにくいため、本研究では政策導入前後において鉄道利用者数は変化しないと考える。

3.2.2. 推計期間

現在価値の基準年度は 2025 年度とする。また、簡便化のため建設期間をゼロと仮定する。社会的割引率については、国土交通省鉄道局（2012）「鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル」（以下「マニュアル」）を参照し、年率 4%と設定する。なお、評価期間は 50 年とし、この期間内の便益および費用の現在価値を計算する。

さらに、鉄道施設の永続性に注目し、51 年目以降の便益の現在価値を残存価値として計上する。

3.2.3. 費用主体及び便益主体の整理

千歳線最高速度引き上げ事業における費用負担主体と便益享受主体を整理すると、費用は自治体および JR 北海道が負担し、便益は鉄道利用者に帰属すると考えられる。

まず、本事業に必要な工事は、「線型改良・軌道強化」「踏切高架化」「線路敷設・トンネル建設」「ホーム改良」など多岐にわたるが、それぞれの工事に関する費用負担の主体は異なる。土地収用が必要となる場合、都市計画事業の一環として地方公共団体が主導するケースが一般的である。過去の事例では、東京都や奈良県などの地方自治体が鉄道高架化に関連する土地取得を

負担した例があり、本事業でも同様の形態が想定される。特に、千歳線沿線に位置する札幌市、北広島市、恵庭市、千歳市といった自治体が、それぞれ土地買収の費用を負担する可能性が高い。

一方で、線型改良や軌道強化、踏切高架化、トンネル建設、駅ホーム改良などの鉄道設備に関連する投資については、鉄道事業者である JR 北海道が負担すると考えられる。鉄道インフラ整備に関しては、新幹線事業や在来線高速化の事例からも、鉄道事業者が基本的に費用を負担する構造となっている。ただし、自治体が地域振興や都市計画の観点から、事業支援として一部のインフラ改良費用を補助する可能性も否定できない。

次に、便益享受主体については、千歳線の最高速度引き上げによる利益は主に鉄道利用者に帰属すると考えられる。鉄道利用者にとっての便益は、主に時間短縮便益、混雑緩和便益、運行の信頼性向上の三つに分類される。時間短縮便益については、最高速度引き上げにより所要時間が短縮されることで、通勤・通学客や観光客を含むすべての利用者の利便性が向上する。特に札幌～新千歳空港間の移動時間短縮は、航空機利用者や通勤客にとって大きなメリットとなる。混雑緩和便益については、高速化によって輸送効率が向上することで、ピーク時間帯の混雑が緩和され、利用者の快適性が増すことが期待される。また、運行の信頼性向上に関しては、線型改良や軌道強化によって列車の遅延や速度制限のリスクが軽減され、定時性が向上することで、安定した鉄道輸送サービスの提供が可能となる。

なお、本研究では JR 北海道の供給者便益、すなわち収益増加は考慮しない。これは、利用者数の増加がない、またはチケット代の変更がない場合、供給者便益（収益増加）が発生しないためである。そのため、本研究においては、JR 北海道にとっての直接的な経済的利益は限定的であり、便益の評価は利用者便益のみに焦点を当てる。ただし、千歳線輸送品質向上事業の本来の目的は、サービスの向上による乗客増加を目指すものである。しかし、本研究では、需要の変化が生じないという仮定のもとで分析を進めたため、供給者便益については考慮しないものとした。

3.3. 千歳線最高速度引き上げ事業の費用便益分析

3.3.1. 費用項目の計算方法

千歳線最高速度引き上げに際し必要な工事として、本研究では「線型改良・軌道強化」と「踏切高架化」の2点を設定する。

(1) 「線型改良・軌道強化」

鉄道の高速化を実現するためには、線型改良と軌道強化が代表的な工事として不可欠である。線型改良は、線路のカーブや勾配を緩和し、列車の運行速度を向上させる基盤を形成する。急カーブを緩やかにすることで、列車は減速を最小限に抑えながら安全に走行可能となる。また、勾配の改善は列車の負荷を軽減し、スムーズな加減速を実現する。一方で、軌道強化は、高速運転時の安全性を維持するために重要である。具体的には、コンクリート枕木や高硬度レールの導入、バラストの質向上などが挙げられる。これにより、振動や磨耗を抑制し、運行の安定性を高めることが可能となる。

これらの改良は相乗効果をもたらす。線型改良が高速運転を可能にし、軌道強化がその基盤を支えることで、両者は一体的に運行の効率性と安全性を向上させる。千歳線においても、このような取り組みは、鉄道高速化を目指す上で不可欠な施策である。

朝日新聞（2019）の報道によると、北海道新幹線（新函館北斗～札幌間）において、JR 北海道は最高時速を現計画の 260km/h から 320km/h に引き上げる方針を示している。この高速化に伴い、約 120 億円の工事費を自社負担で実施する意向を明らかにしたという。JR 北海道（2019）「北海道新幹線新函館北斗・札幌間の高速化の要請について」の情報に基づいて、距離あたりの費用は以下のように計算される。

$$1\text{km あたりの工事費} = \frac{\text{工事費}}{\text{営業キロ}} = \frac{120 \text{ 億円}}{212\text{km}} \approx 0.57 \text{ 億円/km}$$

この費用基準をベンチマークとして適用した場合、千歳線（札幌駅～新千歳空港駅：46.6km）の線形改良および軌道強化にかかる費用は以下のように推定される。

$$0.57 \text{ 億円/km} \times 46.6\text{km} = 26.38 \text{ 億円}$$

この結果は、新幹線の高速化における費用実績を参考にしたものであり、実際の工事内容や技術的制約を考慮しつつも、一定の妥当性を有していると考えられる。

一方、鳥取県（2025）の鉄道高速化事業を参考に、千歳線の「地上工事」に関連する部分のみを考慮し、その費用を試算する。鳥取県における鉄道高速化事業では、総事業費 91.2 億円のうち、地上工事費として 47.5 億円が計上されている。この地上工事費は、①一線スルー化（12 駅）、②曲線改良（18.5km）、③軌道強化（マクラギ交換・道床修繕）、④踏切信号改良（168 箇所）により計上されたものである。このデータを基に、1km あたりの地上工事費を算出すると以下のようになる。

$$1\text{km あたりの地上工事費} = \frac{\text{地上工事費}}{\text{営業キロ}} = \frac{47.5 \text{ 億円}}{142.5\text{km}} \approx 0.33 \text{ 億円/km}$$

この値を千歳線（46.6km）に適用すると、以下の試算が得られる。

$$0.33 \text{ 億円/km} \times 46.6\text{km} = 15.33 \text{ 億円}$$

したがって、千歳線の地上工事（駅の一線スルー化、曲線改良、軌道強化、踏切改良）にかかる費用は約 15.5 億円と推定される。

以上の北海道新幹線および鳥取県の鉄道高速化事業を総合的に考慮すると、本研究では千歳線の地上工事費の平均値は約 21 億円と設定する。

ただし、本試算は、北海道新幹線および鳥取県の鉄道高速化事業の実績を基準に推定したものであり、千歳線における実際の工事費用を直接反映したものではない。都市部の工事コスト、地形条件、交通量、施工時の制約などにより、実際の費用は変動する可能性が高い。将来的に、より正確なコスト試算を行うためには、千歳線沿線の具体的な改良対象箇所の特定制約や、地形・既存インフラの制約を踏まえた工事単価の精査が必要となる。

(2) 「踏切高架化」

千歳線の最高速度を引き上げるにあたり、法令上の制約を満たすためには、踏切の解消が不可欠となる。特に、日本の鉄道においては鉄道運転規則（国土交通省令）により、一定の速度を超える場合、踏切の設置が制限される。具体的には、最高速度が概ね 130km/h を超える場合、踏切

の維持が困難となるとされており、これは列車の停止距離や衝突回避の限界を考慮した安全基準に基づくものである。

現行の千歳線では、踏切が多数存在するため、単に最高速度を引き上げるだけでは計画の実現が難しく、法令との整合性を確保するために踏切の除去が必要となる。そのため、本研究では千歳線の高速化には踏切の全面的な解消が前提条件であるとし、その費用を検討する。

JR 北海道の中期経営計画では、「高架化による踏切解消」について言及しており、本研究ではこの方針に基づき、踏切の解消手段として高架化を前提に議論を進める。踏切を解消する方法としては、連続立体交差化（複数の踏切を一括して高架化）と単体立体交差化（個別の踏切ごとに高架化）の2つが考えられる。

まず、連続立体交差化の費用は、下表に示す通りである。

[表 5: 連続立体交差化費用]

路線	1 か所あたりの費用	備考
京浜急行	約 59 億円	東京都、28 か所解消
JR 中央線	約 99 億円	東京都、18 か所解消
西武池袋線	約 53 億円	東京都、9 か所解消
JR 南武線	約 40 億円	東京都、15 か所解消
京王線	約 64 億円	東京都、18 か所解消（地下化含む）
JR 関西線	約 83 億円	奈良県、6 か所解消

出典：国土交通省(2016)「最近の代表的な高架切替事例と効果」より筆者作成。

次に、単体立体交差化の費用は、下記の表に示す通りである。

[表 6: 京成本線における単体立体交差化費用]

京成本線における政策代替案	1 か所あたりの費用	備考
一部高架化（C 案）	約 63 億円	2 か所解消（単体のみ）
単体立体化（E 案）	約 72 億円	3 か所解消

出典：立川市(2009)「京成本線の立体化及び沿線まちづくりに関する有識者委員会からの提言」より筆者作成

一般に、連続立体交差化の方が単体立体交差化よりもコスト効率が高いとされる。しかし、本研究では「踏切を解消するための高架化」という目的に特化し、2つの手法の差異を無視し、総合的なコストを推定する。既存のデータを基に、踏切解消のための高架化費用の平均値を約 67 億円と算出した。ただし、この数値には土地の買収費用も含まれており、北海道の土地事情を考慮した補正が必要となる。

まず、立川市（2009）の事例に基づき、土地買収費用が総費用に占める割合を算出する。土地価格の基準として、株式会社 Land Price Japan が提供する「土地価格相場が分かる土地代データ」を用い、立川市の基準地価平均を 73 万 2095 円/㎡とする。このデータは国土交通省が提供する

オープンデータを出典としており、令和 6 年の各地区の代表的な土地価格を反映したものである。そして、国土交通省が公表する令和 6 年地価公示のデータのうち、「都道府県（全国）最高価格地（住宅地・商業地）を用いた平均価格指数」を用いて価格調整を行う。その結果、平成 21 年の価格は令和 6 年の約 60%に相当すると算出された。これを基に調整を行った結果、平成 21 年時点における立川市の基準地価平均は 43 万 9257 円/㎡と推定される。また、用地買収の面積データについては立川市（2009）を参照し、その詳細については表 7 に示す。

[表 7:立川市での土地買収費用の割合]

政策代替案	総費用[億円]	土地買収費用[億円] ⁵	土地買収費用の割合
A 案（全線高架化）	546	72	13%
B 案（全線地下化）	1025	99	10%
C 案（一部高架化）	162	73	45%
D 案（一部地下化）	477	117	25%
E 案（単独立体化）	209	117	56%
F 案（地下・高架併用）	729	76	10%
G 案（国道全線地下化）	1000	105	11%
土地買収費用の割合の期待値			24%

出典：立川市(2009)「京成本線の立体化及び沿線まちづくりに関する有識者委員会からの提言」
より筆者作成

つまり、立体交差化の費用において、約 24%が土地買収に充てられたという結論に至った。前述の高架化費用の平均値を約 67 億円と算出したが、そのうち約 16 億円が土地買収費用に相当すると推定される。しかし、この平均値は東京都の事例に基づいて算出されたものであり、東京都と北海道の間での価格調整が必要である。

本研究では、令和 6 年の東京都における基準地価平均を 117 万 6810 円/㎡とし、一方で千歳線沿線の地価は北海道内では比較的高い水準にあるため、北海道の基準地価平均を取るのではなく、沿線の札幌市、北広島市、恵庭市、千歳市の平均価格を算出することにした。その結果、令和 6 年の千歳線沿線における基準地価平均は 10 万 7580 円/㎡と推定された。

これを基に、東京都の地価水準を北海道の水準に補正すると、同等の高架化を実施する場合に必要な土地買収費用は約 1.5 億円と見積もられる。したがって、千歳線沿線における高架化費用の平均値は、約 52.5 億円と換算できる。

また、衛星データを活用した分析の結果、最高速度引き上げに伴い除去が必要となる踏切は 16 ヶ所と推定された⁶。この数値を基に、踏切除去費用を試算すると以下ようになる。

$$\begin{aligned}\text{総費用} &= \text{単位当たり平均費用} \times 16 \text{ ヶ所} \\ &= 52.5 \times 16\end{aligned}$$

⁵ 土地買収費用は、用地買収面積（㎡）× 基準地価平均（円/㎡）により算出する。

⁶ 踏切場所の詳細について、付録(2)を参照されたい。

= 840 億円

ただし、実際には踏切の閉鎖などの代替手段を検討することで、さらなるコスト削減の可能性もあることも考慮すべきである。しかし、この方法にはいくつかの課題が伴う。まず、地域交通への影響として、一部の踏切が廃止されることで迂回ルートの確保が必要となり、地元住民や事業者の利便性が損なわれる可能性がある。次に、代替手段の確保に関しては、代替道路の整備や既存の道路ネットワークとの統合が求められ、単純な踏切閉鎖が必ずしも費用削減に直結するとは限らない。さらに、政策的・行政的な調整の面では、地元自治体との合意形成が不可欠であり、踏切の閉鎖には一定の時間と手続きが伴うことから、短期間での実施は難しい。これらの要因を総合的に考慮すると、踏切の閉鎖を含めた具体的な施策の実現可能性については、現地調査を実施しない限り確実な判断が困難である。そのため、現状の試算より精緻な踏切解消計画の策定が求められる。

また、本研究では、北海道の特性を踏まえ、踏切解消の施策として単体立体交差化の方がコスト効率が高いと想定する。総費用の計算においては、高架化の期待費用のみを考慮しているが、今後さらなる工事費用の削減を図る上で、地域特性に適した施策の検討をしたい。一般的に、連続立体交差化は複数の踏切を一括で高架化することでコスト効率が高いとされるが、北海道においては以下の2つの理由から、全線高架化は結果的にコスト増につながる可能性が高く、本研究では将来的な施策として取り上げられにくいと考えられる。

第一の理由として、北海道の土地価格が全国と比較して相対的に低いことが挙げられる。表7からも明らかなように、A案（全線高架化）とC案（一部高架化）を比較すると、後者の方が土地買収費用を抑えた事業計画が可能となる。北海道の地価水準を考慮すると、必要最低限の区間のみを高架化することで、コスト削減効果が期待できる。

第二の理由として、千歳線全線における踏切の分布が集中型ではなく、より分散的であることが挙げられる。仮に全線を高架化する場合、分散的に配置された踏切を含む長大な区間を高架化する必要が生じるため、結果として必要な高架構造物の総延長が増加し、全体の事業コストが高騰する可能性がある。これに対し、単体立体交差化を採用すれば、踏切が存在するポイントのみに限定して高架化を実施できるため、総費用の削減が見込まれる。

以上の理由から、本研究では、単体立体交差化を踏切解消の主要な手段とし、より適切な施策であると想定する。

3.3.2. 便益項目の計算方法

JR 北海道では、最高速度引き上げ事業の目的を「移動時間の短縮」としている。ここで、国土交通省のマニュアルにより、総移動時間費用は以下の式で表される。

$$\sum_i \sum_j x_{ij} \cdot T_{ij} \cdot \omega_l$$

なお、各変数の定義は表8の通りである。

[表 8: 総移動時間費用における変数]

x_{ij}	千歳線区間内任意の i 駅- j 駅間における乗客数[人/年]
----------	-------------------------------------

T_{ij}	千歳線区間内任意の i 駅- j 駅間における移動時間量[分]
ω_l	乗車中の時間評価値[円/分]

したがって、移動時間短縮便益は、With、Without 別に算出した総移動時間費用の差により算出される。

なお、本研究では、以下のように快速エアポートの利用者を通勤利用者と空港利用者に分け、時間短縮便益を分析する⁷。

快速エアポートの年間利用者

= 片道フローの総利用者数（通勤需要）+ 空港直行利用者（航空需要）

ここで、国土交通省（2008）及びマニュアルに基づいて、乗車中の時間評価値 ω_l [円/分]を鉄道の時間価値原単位として、37.4「円/分/人」とする⁸。よって、空港利用者についての時間短縮便益は次の式で計算される。

航空利用者の時間短縮便益 $= x_{ij} \cdot \Delta T_{ij} \cdot \omega_l = 10,609,600[\text{人}] \cdot 8[\text{分}] \cdot 37.4[\text{円/分/人}]$

一方、通勤利用者については、利用者フロー行列を活用して分析を進める。前項より、千歳線区間内任意の i 駅- j 駅間における乗客数 x_{ij} [人/年]が既知である。そこで、千歳線区間内任意の 2 駅間における時間短縮量 ΔT_{ij} [分]を求める必要がある。本研究では、駅間距離を駅間移動時間で代替し、表 9 のように設定する。

[表 9: 千歳線区間における 2 駅間の所要時間]

駅 i	駅 j	駅間移動時間[分] ⁹
札幌	新札幌	9
新札幌	北広島	8
北広島	恵庭	7
恵庭	千歳	6
千歳	南千歳	4
南千歳	新千歳空港	3

⁷ ここでは、なぜ客層の推測を行う必要があるのかについて説明する。主な理由の一つは、乗車中の時間評価値に関する後の感度分析を容易にするためである。また、重力モデルには移動の目的ごとの特性を区別できないという制約がある。そのため、本研究では、通勤型とエクスプレス型の両方の特性を考慮し、より北海道における空港アクセス鉄道の実態に即した分析を行う。

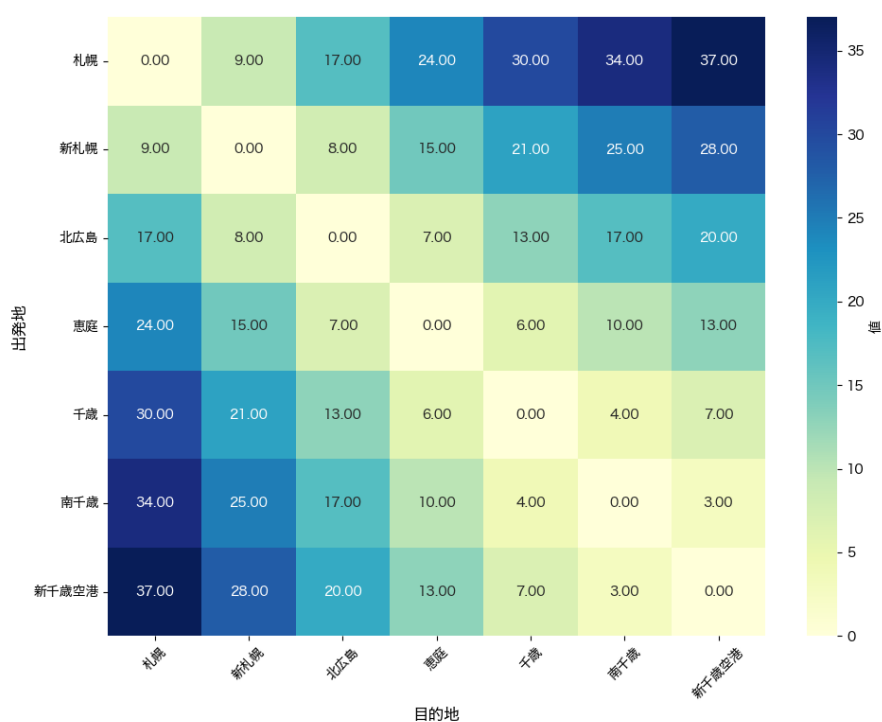
⁸ 「平成 15 年毎月勤労統計調査」に基づいて算出された数値である。また、これはすべての利用目的（業務・非業務）に対して同じ時間価値を適用している。本研究では、航空利用者以外の利用者をすべて通勤者と仮定している。そのため、業務・非業務利用の区別せずに、この数値を採用することで分析しても整合的な関係を構築している。

⁹ ここでは、快速エアポートの移動時間と見なす。また、札幌から新千歳空港まで快速エアポートの運行時間の期待値として 37 分とする。ただし、全ての運行情報について付録(3)に参照されたい。

注: YAHOO!JAPAN (2025) より筆者作成

表 9 を基に近隣の駅間移動時間を入力データとして与え、最短経路アルゴリズムを使用することで、千歳線区間内全駅間の移動時間を算出する。シミュレーションの結果は図 3 の通りである。

[図 3: 千歳線における 2 駅間最短必要時間行列]



注:シミュレーション結果より筆者作成

また、全線の時間短縮量が最大 8 分想定されていることを踏まえ、各駅間の時間短縮量をシミュレーションし、図 4 のような結果が導出される。

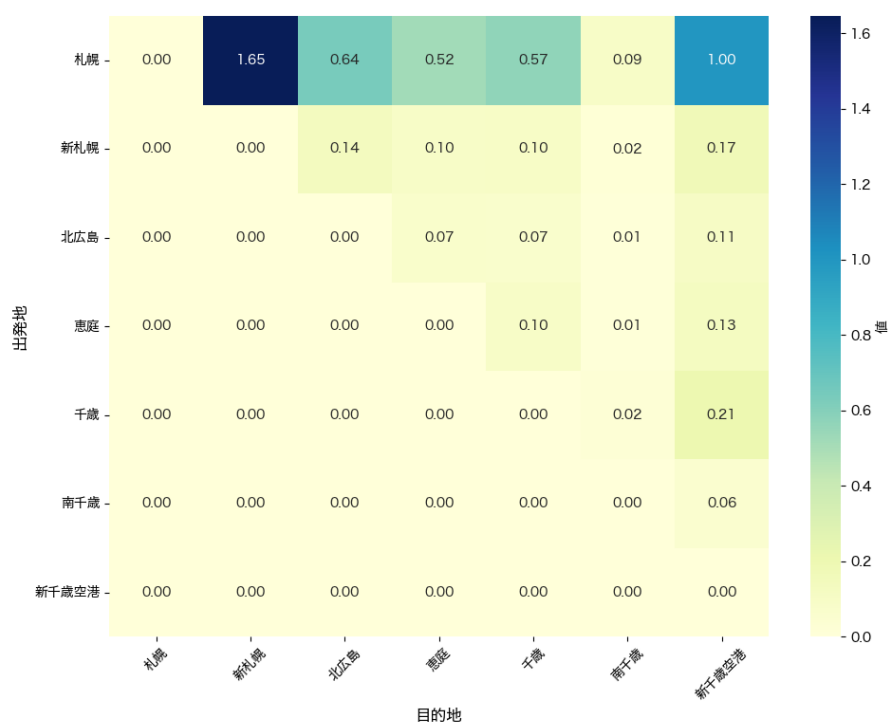
[図 4: 千歳線における 2 駅間時間短縮量行列]



注: シミュレーション結果より筆者作成

以上のシミュレーション結果より、通勤需要としての各駅間の時間短縮便益は図 5 のように算出される。ただし、これは利用者フローと同様に、札幌方面から新千歳空港方面への片道分の便益を示している。

[図 5: 千歳線における通勤利用者の 2 駅間時間短縮便益行列]



注: シミュレーション結果より筆者作成

したがって、各駅間の時間短縮便益を合計することで、片道分の通勤利用者による時間短縮便益が導かれる。この値に2を乗じることで、往復を含めた通勤利用者の時間短縮便益が求められる。

故に、年間の時間短縮便益は

時間短縮便益 = 通勤利用者の時間短縮便益 + 航空利用者の時間短縮便益 = 37.50 億円
と計算される。

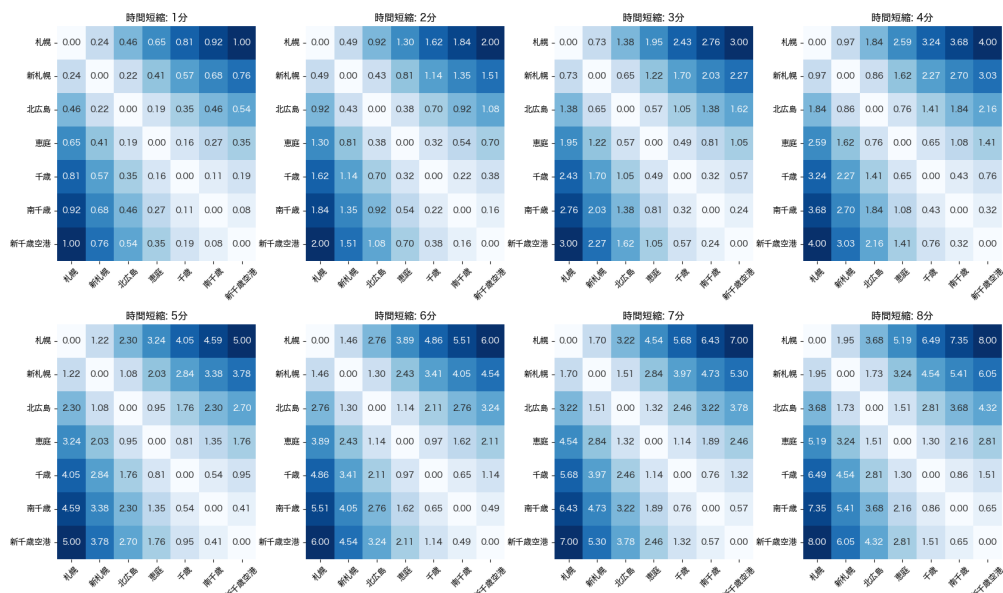
3.3.3. 感度分析

(1) 各時間短縮量に対する費用便益の感度分析

千歳線における速度引き上げの時間短縮量に対して感度分析を行う。

JR 北海道の発表資料によれば、8 分の時間短縮を図ることが明言されていたが、実際に計画通りの短縮が達成されるかは、技術的や路線的な制約や運行上の調整に大きく依存する。例えば、速度引き上げに伴う追加コストには、車両性能の向上にかかる費用が含まれる可能性がある。また、ダイヤ調整における他の列車との整合性や、安全基準の維持といった要因も短縮幅に影響を与えることが予想される。その結果、8 分の短縮が目標であるものの、技術的および運行上の制約により、短縮幅が8分未満に留まる可能性も考えられる。故に、本研究では、時間短縮が利用者を与える影響をより詳細に評価するために、1 分単位での感度分析を実施する。このとき、前項と同様のシミュレーションにより、各駅間の時間短縮量は図6のように計算される。

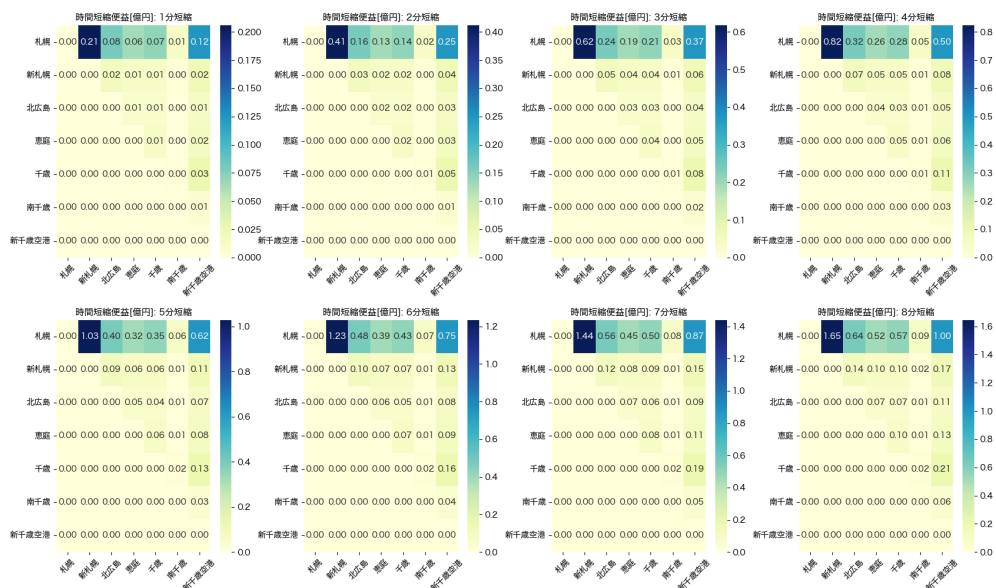
[図6: 千歳線における2駅間時間短縮量行列の感度分析]



注: シミュレーション結果より筆者作成

また、各短縮時間における各駅間の時間短縮便益[億円]の感度分析は図7の通りであり、短縮時間に対し時間短縮便益は正の相関を持つ。

[図7: 千歳線における通勤利用者の2駅間時間短縮便益行列の感度分析]



注: シミュレーション結果より筆者作成

以上より、各時間短縮量に対する時間短縮便益は表10の通り算出される。

[表10: 各時間短縮量に対する時間短縮便益]

時間短縮量 [分]	通勤利用者便益 [億円]	空港利用者便益 [億円]	時間短縮便益 [億円]
1	0.72	3.97	4.69
2	1.44	7.94	9.38
3	2.16	11.90	14.06
4	2.88	15.87	18.75
5	3.60	19.84	23.44
6	4.32	23.81	28.13
7	5.04	27.78	32.81
8	5.76	31.74	37.50

注: シミュレーション結果より筆者作成

表10より、全体の時間短縮便益は、1分の短縮で4.69億円、8分の短縮で37.50億円である。時間短縮量の増加に伴い、年間の時間短縮便益も比例的に増加することが確認される。

(2) 直行者割合に対する感度分析

新千歳空港への移動を目的として千歳線を利用する航空需要者を直行利用者として、直行利用者の割合に対して感度分析を行う。

基本値の50%は、以下に述べる最大値と最小値の平均として設定した。

まず、新千歳空港駅の年間乗り降りデータによる最大限の推定を考える。新千歳空港駅の年間乗降回数は約1,370万人（年間乗車人数で685万人¹⁰）である。この数値を新千歳空港の年間利用回数（約2228万人¹¹）と比較すると、鉄道を利用して空港に到着する人の割合、すなわち鉄道の利用選択率は61.5%と計算される。

ただし、この利用選択率を札幌方面へ移動する人々の割合として直接適用することには慎重な検討が必要である。理由として、新千歳空港駅の年間乗降回数には、異なる利用目的を持つ人々も含まれる点が挙げられる。例えば、空港到着後に札幌市を経由せず、南千歳駅で乗り換えて別地域へ向かう利用者が一定数存在している。また、新千歳空港内で働く労働者や、空港関連施設への訪問を目的とした利用者も鉄道を利用する可能性がある。これらの要因により、61.5%という鉄道利用選択率は、札幌方面へ移動する人々の割合として過大評価の可能性がある。

このため、61.5%を札幌方面利用者の割合の「最大限の推定値」として位置付けることが妥当である。

次に、全道でのJR在来線利用選択率による最小限の推定を考える。航空旅客のイグレス（目的地への移動）手段に関する統計によれば、JR在来線の交通機関選択率は41.5%である¹²。この割合には、札幌市と新千歳空港を直結する快速エアポートも含まれると考えられる。快速エアポートはその高い利便性から、札幌市に向かう航空旅客の利用が他の在来線よりも多い可能性が高い。これにより、千歳線の利用によって札幌市方面に向かう旅客の割合が、統計上の41.5%という平均的な値を上回る可能性が示唆される。

特に注目すべき点として、南千歳駅における乗り換え可能な在来線のキャパシティは快速エアポートに比べて著しく劣る。南千歳駅から道南および道東方面へ向かう一部の利用者が存在するが、これらの利用者数は全体の中で相対的に少ないと推定される。南千歳駅での乗り換え利用者は全体の中で相対的に少なく、無視しても大きな誤差を生じないと判断できる。

このため、41.5%を札幌方面利用者割合の「最小限の基準値」と位置付ける。

最大値（61.5%）と最小値（41.5%）の平均値を基本値（50%）とする¹³。この仮定は、中間地点での下車需要の低さより、妥当であると考えられる。空港利用者はほぼ観光利用またはビジネス

¹⁰ JR北海道（2024）「新千歳空港駅 年間乗車人数」。

¹¹ 国土交通省（2024）「暦年・年度別空港管理状況調書」。

¹² 国土交通省（2024）「令和5年度・航空旅客動態調査」の「表11-2」に参照されたい。

¹³ 空港と札幌市内の間の移動については、上り（札幌市内から空港へ）と下り（空港から札幌市内へ）の利用者流動が対称的であると仮定する。この仮定は、空港利用者が出発時と到着時において基本的に同じ交通手段を選択する傾向があるとの一般的な前提に基づいている。つまり、空港から札幌市内への直行利用者割合が50%である場合、札幌市内から空港への直行利用者割合も同様に50%であると推定する。

ス利用が占めている¹⁴。特に、札幌市と新千歳空港の間には観光地やビジネス拠点といった中間需要が集中する地点がほぼ存在しない¹⁵。この点を考慮すると、この割合は大きな偏りのない妥当な推定であると判断できる。

しかし、この仮定は類推的に導出したものであり、実際の空港利用者の動向やその他の要因（異なる交通手段の選択、中間地点での特殊な需要など）の影響を考慮していない。したがって、この仮定に依存するのではなく、最大値と最小値の差を考慮し、感度分析を実施することで複数のシナリオを評価する。

(3) 時間価値原単位に対する感度分析

空港利用者と通勤者との時間価値原単位が異なる可能性を考慮し、時間価値原単位に対して感度分析を行う。

千歳線は、新千歳空港と札幌都市圏を結ぶ路線であり、通勤者と空港利用者が混在して利用する。一般に、所得接近法では、時間価値原単位（VoT: Value of Time）は所得水準に比例する傾向がある。北海道においては、空港利用者の多くが出張や観光などで道外から訪れるため、平均的な所得水準が地元の通勤者よりも高い可能性がある。この違いを考慮せずに一律の時間価値原単位を適用すると、時間短縮便益の評価に偏りが生じる可能性がある。そこで、本研究では、通勤者と空港利用者の時間価値原単位の違いに着目し、感度分析を行うことで、より精緻な費用便益評価を試みる。

ただし、本研究で採用する航空利用者の鉄道における時間価値原単位（VoT）は、航空機利用時の時間価値原単位をそのまま適用している。しかし、実際には、空港利用者が鉄道へ転換する場合、その VoT が飛行機内と同様に高いとは限らない。航空機利用時の VoT は、ドア・ツー・ドアの移動全体を対象とする傾向があり、鉄道区間単独での VoT とは異なる可能性がある。特に、鉄道利用時は移動の拘束性が相対的に低くなるため、VoT が飛行機内よりも低下することが考えられる。したがって、本研究における航空利用者の鉄道 VoT の設定は、推定値の最大値として位置づけ、時間短縮便益の評価において一定の上限として持つと仮定する。そのため、感度分析を行い、VoT の変動による影響を検証することが求められる。

¹⁴ 「令和 4 年度新千歳空港における観光客動態調査」の 2 節「今回の札幌旅行について」に参照されたい。

¹⁵ 例えば、千歳線沿線の北広島駅に関しては一例に過ぎないが、北海道ボールパーク F ビレッジへの野球観戦需要が存在する。しかしながら、空港経由からの乗客が年間利用者における占める割合が少ないと判断し、本研究では便宜上これを無視することとする。

3.4. 新千歳空港駅スルー化事業の費用便益分析

3.4.1. 費用項目の計算方法

千歳線最高速度引き上げに際し必要な工事として、「線路敷設・トンネル建設」と「ホーム改良」の2点を設定する。なお、スルー化自体は新規性の高いプロジェクトであるため、各工事に対して過去の類似事例を基に、施設整備費を算出する。「線路敷設・トンネル建設」の工事に際して、相鉄線とJR線・東急線との直通運転プロジェクトである神奈川東部線方面事業を類似事例として参照する。この事例を参照する理由として次の2点が挙げられる。一点目はスルー化の際に想定される建設区間の大部分が、空港の地下を通ることによる地下区間での建設が想定されており、その点で類似度が極めて高いためである。国土交通省（2022）によると、神奈川東部線方面事業では12.7kmの区間が整備区間として示されており、かつこの区間はほぼ全区間が地下トンネルにより建設が行われ、費用として5000億円を計上している。また北海道エアポート株式会社（2025）によると新千歳空港の敷地は726ヘクタールと広大であり、スルー化を行う際にも一定程度の距離は空港の敷地を通過することになり、地下トンネルでの建設が必要になることもまた神奈川東部線方面事業との類似度が高い理由である。二点目は神奈川東部線方面事業により路線開通を果たしたのが2019年度以降であり、直近の事例とみなすことができることからスルー化の際の建設費などに十分に参考となると考えられることが理由である。

「ホーム改良」については品川駅の事例を用いる。日本経済新聞（2019）によると、JR東日本は品川駅のホーム改良工事で200億円を費用として見込んでいる。スルー化の際ホームの増設は地下トンネル内で行われるが、それは上に示した「線路敷設・トンネル建設」に含まれていると認識しており、主に既存ホームの「ホーム改良」自体としてホーム拡幅を行っていることから、品川駅での工事を類似度が高い事例として採用した。

3.4.2. 便益項目の計算方法

3.4.2.1. 混雑緩和便益

国土交通省のマニュアルに倣い、鉄道車両内の混雑における不快感は以下の式で表される。

$$\omega_l \cdot T_p \cdot f_{cong}(x_p, cap)$$

なお、式中の変数及び混雑不効用関数 $f_{cong}(\cdot)$ の定義は表11、表12の通りである。

[表11: 混雑緩和便益における変数]

ω_l	乗車中の時間評価値[円/分]
T_p	新千歳空港駅-南千歳駅間の乗車時間[分]
x_p	新千歳空港駅-南千歳駅間の需要量[人/時間]
cap	新千歳空港駅-南千歳駅間の交通容量[人/時間]
$f_{cong}(\cdot)$	混雑不効用関数（混雑不効用の評価値の時間換算係数）

出典：国土交通省（2012）「鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル（2012 改訂版）」より筆者作成

[表 12: 混雑不効用関数]

混雑率	混雑不効用関数
$0 \leq \frac{x_p}{cap} < 1.0$	$f_{cong}(x, cap) = 0.0270 \cdot \frac{x_p}{cap}$
$1.0 \leq \frac{x_p}{cap} < 1.50$	$f_{cong}(x, cap) = 0.0828 \cdot \frac{x_p}{cap} - 0.0558$
$1.50 \leq \frac{x_p}{cap} < 2.0$	$f_{cong}(x, cap) = 0.179 \cdot \frac{x_p}{cap} - 0.200$
$2.0 \leq \frac{x_p}{cap} < 2.50$	$f_{cong}(x, cap) = 0.690 \cdot \frac{x_p}{cap} - 1.22$
$2.50 \leq \frac{x_p}{cap}$	$f_{cong}(x, cap) = 1.15 \cdot \frac{x_p}{cap} - 2.37$

出典：国土交通省（2012）「鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル（2012 改訂版）」より筆者作成

混雑緩和便益は、With、Without 別に算出した混雑不快感の減少分により算出される。なお、前節と同様に乗車中の時間評価値[円/分]（鉄道の時間価値原単位）は 37.4 円/分と仮定する。

ここで、国土交通省によると千歳線の通勤通学時間帯の最混雑区間における混雑率は輸送力 5,766 人に対して輸送人員 5,155 人で 89%と提示されている。実際には、通勤通学客と旅行客が同じ電車に乗り合わせているため、旅行客の荷物等により混雑不快感はこれよりも大きいと評価され得るが、本研究では現状における札幌駅-北広島駅間（乗車時間 17 分）の混雑率が 89%であると仮定する。また、スルー化により 70% の混雑率が達成されると仮定して計算する。故に、年間の混雑緩和便益は以下の式で求められる。

$$37.4 \times 17 \times (0.0270 \times (0.89 - 0.70)) \times 5,155 \times 365 = 0.061 \text{ 億円}$$

3.4.2.2. 乗換利便性向上便益

国土交通省のマニュアルに倣い、乗換利便性の貨幣換算は以下の式で表される。

$$\omega_l \cdot T_q \cdot x_q$$

なお、式中の変数の定義は表 13 の通りである。

[表 13: 乗換利便性向上便益における変数]

ω_l	乗車中の時間評価値[円/分]
T_q	南千歳駅での乗換所要時間[分]

x_q	南千歳駅にて千歳線から別路線に乗り換える乗客数[人/年]
-------	------------------------------

出典：国土交通省（2012）「鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル（2012 改訂版）」より筆者作成

乗換利便性向上便益は、With、Without 別に算出した乗換利便性の差により算出される。

ここで、「鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル」に則り、乗り換え一回は乗車時間約 10 分と同様の不効用を生じさせるとして、以後 $T_q = 10$ として扱う。また、ここでも乗車中の時間評価値[円/分]（鉄道の時間評価値原単位）は 37.4 円/分と仮定する。

次に乗客数の推定を考える。JR 北海道(2024)より GW 期間中 11 日間の新千歳空港駅利用者数は 39 万 2500 人であり、年間利用者 2225 万 7362 人と比較して 1 日あたり 1.9 倍となる。GW 期間の道東方面の乗客数について、GW 期間 11 日間の乗客数 2 万 6000 人を通常の 1.9 倍と仮定し、45 万 4000 人/年と推定する。また、道南方面については、GW 期間 11 日間の特急北斗の乗客 61,000 人/日のうち、2 割が南千歳乗り換えと仮定した上で通常の 1.9 倍とすると乗客数は 21 万 3000 人/年である。よって、 x_q は 66 万 7000 人/年となる。故に、年間の乗換利便性向上便益は、

$$37.4 \cdot 10 \cdot 667,000 = 2.495 \text{ 億円}$$

と求められる。

第4節 分析結果

4.1. 千歳線最高速度引き上げ事業

費用便益分析の結果は表の通りであり、純便益は76.53億円と算出された。したがって、JR北海道が千歳線の最高速度引き上げ事業により、札幌～新千歳空港間で計画通り8分の時間短縮を実現できる場合、費用便益分析の観点から本事業の実施は推奨される。

[表 14: 千歳線最高速度引き上げ事業（With 1）の費用便益分析]

費用	線型改良・軌道強化費	21 億円
	踏切高架化費	840 億円
費用合計		861 億円
便益	時間短縮便益	37.50 億円/年
純便益		76.53 億円
B/C		1.09

注: シミュレーション及び計算結果より筆者作成

4.2. 新千歳空港駅スルー化事業

費用便益分析の結果は表の通りであり、純便益は-5,136億円と算出される。したがって、社会的便益が負となる事業であることが示される。故に、費用便益分析の観点から、本事業の実施は推奨されない。

[表 15: 新千歳空港駅スルー化事業（With 2）の費用便益分析]

費用	線路敷設・トンネル建設費	5,000 億円
	ホーム改良費	200 億円
費用合計		5,200 億円
便益	混雑緩和便益	0.061 億円/年
	乗換利便性向上便益	2.495 億円/年
純便益		-5,136 億円
B/C		0.01

注: シミュレーション及び計算結果より筆者作成

4.3. 千歳線最高速度引き上げ事業&新千歳空港駅スルー化事業

費用便益分析の結果は表 16 の通りであり、純便益は-5059.57 億円と算出される。したがって、純損失をもたらす事業であることが示される。故に、「千歳線最高速度引き上げ事業」と「新千歳空港駅スルー化」の双方を同時に実施することは望ましくないと判断される。

[表 16: 千歳線最高速度引き上げ事業&新千歳空港駅スルー化事業（With 3）の費用便益分析]

費用	線型改良・軌道強化費	21 億円
	踏切高架化費	840 億円
	線路敷設・トンネル建設費	5,000 億円
	ホーム改良費	200 億円
費用合計		6061 億円
便益	時間短縮便益	37.50 億円/年
	混雑緩和便益	0.061 億円/年
	乗換利便性向上便益	2.495 億円/年
純便益		-5059.57 億円
B/C		0.17

注: シミュレーション及び計算結果より筆者作成

4.4. 感度分析

4.4.1. 千歳線最高速度引き上げ事業

(1) 千歳線最高速度引き上げ事業における各時間短縮量に対する費用便益の感度分析

この節では、千歳線最高速度引き上げ事業に関して、各時間短縮量が便益に与える影響を分析する。表 10 に示すように、時間短縮量の変化に伴い便益も変動するため、時間短縮量に対する純便益の感度分析を行い、損益分岐点を特定する。感度分析の結果は表 17 の通りである。

[表 17: 各時間短縮量に対する費用便益（With 1）の感度分析]

時間短縮量 [分]	総便益[億円]	費用[億円]	純便益 [億円]	B/C (費用便益比)
1	117.19	861	-743.81	0.14
2	234.38	861	-626.62	0.27
3	351.57	861	-509.43	0.41
4	468.77	861	-392.23	0.54
5	585.96	861	-275.04	0.68
6	703.15	861	-157.85	0.82
7	820.34	861	-40.66	0.95
8	937.53	861	76.53	1.09

注: シミュレーション及び計算結果より筆者作成

時間短縮量が 8 分以上であれば費用便益比が 1 を超え、社会的便益がプラスであることがわかる。すなわち、8 分以上の時間短縮が達成されれば投資に対する便益が費用を上回ることを示しており、事業として経済的に成立する可能性が高いと考えられる。

したがって、最低でも 8 分の時間短縮を達成することが、事業の採算性を確保する上での重要な閾値（損益分岐点）であると結論づけられる。

(2) 千歳線最高速度引き上げ事業における直行者割合に対する感度分析

この節では、千歳線最高速度引き上げ事業に関して、直行者割合の変動が便益に与える影響を分析する。感度分析の結果は表 18 の通りである。

[表 18: 各直行者割合に対する費用便益（With 1）の感度分析]

直行者割合	時間短縮量 [分]	総便益[億 円]	費用[億円]	純便益 [億円]	B/C (費用便益比)
41.5% (最小値)	1	103.39	861	-757.61	0.12
	2	206.77	861	-654.23	0.24
	3	310.16	861	-550.84	0.36
	4	413.55	861	-447.45	0.48
	5	516.93	861	-344.07	0.60
	6	620.32	861	-240.68	0.72
	7	723.70	861	-137.30	0.84
	8	827.09	861	-33.91	0.96
50% (基準値)	1	117.19	861	-743.81	0.14
	2	234.38	861	-626.62	0.27
	3	351.57	861	-509.43	0.41
	4	468.77	861	-392.23	0.54
	5	585.96	861	-275.04	0.68
	6	703.15	861	-157.85	0.82
	7	820.34	861	-40.66	0.95
	8	937.53	861	76.53	1.09
61.5% (最大値)	1	135.87	861	-725.13	0.16
	2	271.74	861	-589.26	0.32
	3	407.61	861	-453.39	0.47
	4	543.48	861	-317.52	0.63
	5	679.35	861	-181.65	0.79
	6	815.22	861	-45.78	0.95
	7	951.09	861	90.09	1.10
	8	1086.96	861	225.96	1.26

注: シミュレーション及び計算結果より筆者作成

直行者割合が 61.5% の場合、時間短縮量が 7 分を超えれば純便益は正になり、実施が推奨される。一方で、直行者割合が 41.5% の場合、8 分の時間短縮を達成されでも、純便益は正の値とならない。

したがって、JR 北海道の計画通りに 8 分の時間短縮が実現すれば、直行者割合が 61.5% および 50% のシナリオにおいて純便益が正の値となり、事業の実施が妥当であると判断される。

(3) 千歳線最高速度引き上げ事業における時間価値原単位に対する感度分析

この節では、千歳線最高速度引き上げ事業に関して、時間価値原単位の変動が便益に与える影響を分析する。本研究では、時間価値原単位の設定に際し、所得接近法を基準とする。したがって、国土交通省（2008）「時間価値原単位について」を参照し、空港利用者の時間価値を 55.95 円/分と仮定し、感度分析を実施する。

[表 19: 各時間価値原単位に対する費用便益（With 1）の感度分析]

空港利用者の時間価値 [円/分]	時間短縮量 [分]	総便益[億円]	費用[億円]	純便益 [億円]	B/C (費用便益比)
37.4 (基準値)	1	117.19	861	-743.81	0.14
	2	234.38	861	-626.62	0.27
	3	351.57	861	-509.43	0.41
	4	468.77	861	-392.23	0.54
	5	585.96	861	-275.04	0.68
	6	703.15	861	-157.85	0.82
	7	820.34	861	-40.66	0.95
	8	937.53	861	76.53	1.09
55.95 (最大値)	1	166.39	861	-694.61	0.19
	2	332.79	861	-528.21	0.39
	3	499.18	861	-361.82	0.58
	4	665.57	861	-195.43	0.77
	5	831.97	861	-29.03	0.97
	6	998.36	861	137.36	1.16
	7	1164.76	861	303.76	1.35
	8	1331.15	861	470.15	1.55

注: シミュレーション及び計算結果より筆者作成

空港利用者の時間価値が 55.95 円の場合、最小でも 6 分の時間短縮が達成できれば、純便益が正の値をとることが示される。故に、乗客の時間価値に費用便益分析の結果が左右されることが確認される。

(4) 費用便益 (With 1) の感度分析のまとめ

この節では、千歳線最高速度引き上げ事業に関して、便益に与える影響をそれぞれのシナリオを組み合わせることで総合的に分析する。そのため、千歳線最高速度引き上げ事業 (With 1) における感度分析の結果は表 20~22 の通りに纏められる。

[表 20: 直行者割合が 41.5%の場合における費用便益 (With 1) の感度分析]

直行者割合 [%]	空港利用 者の時間 価値[円/ 分]	時間短縮量 [分]	総便益 [億円]	費用 [億円]	純便益 [億円]	B/C (費用便益比)
41.5 (最小値)	37.4 (基準 値)	1	118.20	861	-742.80	0.14
		2	236.41	861	-624.59	0.27
		3	354.61	861	-506.39	0.41
		4	472.82	861	-388.18	0.55
		5	591.02	861	-269.98	0.69
		6	709.23	861	-151.77	0.82
		7	827.43	861	-33.57	0.96
		8	945.64	861	84.64	1.10
	55.95 (最大 値)	1	144.22	861	-716.78	0.17
		2	288.45	861	-572.55	0.34
		3	432.67	861	-428.33	0.50
		4	576.90	861	-284.10	0.67
		5	721.12	861	-139.88	0.84
		6	865.34	861	4.34	1.01
		7	1009.57	861	148.57	1.17
		8	1153.79	861	292.79	1.34

注: シミュレーション及び計算結果より筆者作成

表 20 の結果から、直行者割合が 41.5%の場合、費用便益比 (B/C) は最大 1.10 にとどまり、事業の実施判断が微妙であることが示された。特に、時間価値が最小の場合、B/C>1 となるのは時間短縮が 8 分のケースのみで、それ以外では便益が費用を下回る。一方、時間価値が最大の場合は、時間短縮が 6 分以上で B/C>1 となる。したがって、直行者割合が低い場合、時間価値が高くない限り、事業の実施には慎重な判断が求められる。

[表 21: 直行者割合が 50%の場合における費用便益（With 1）の感度分析]

直行者割合 [%]	空港利用 者の時間 価値[円/ 分]	時間短縮量 [分]	総便益 [億円]	費用 [億円]	純便益 [億円]	B/C (費用便益比)
50 (基準値)	37.4 (基準 値)	1	117.19	861	-743.81	0.14
		2	234.38	861	-626.62	0.27
		3	351.57	861	-509.43	0.41
		4	468.77	861	-392.23	0.54
		5	585.96	861	-275.04	0.68
		6	703.15	861	-157.85	0.82
		7	820.34	861	-40.66	0.95
		8	937.53	861	76.53	1.09
	55.95 (最大 値)	1	166.39	861	-694.61	0.19
		2	332.79	861	-528.21	0.39
		3	499.18	861	-361.82	0.58
		4	665.57	861	-195.43	0.77
		5	831.97	861	-29.03	0.97
		6	998.36	861	137.36	1.16
		7	1164.76	861	303.76	1.35
		8	1331.15	861	470.15	1.55

注: シミュレーション及び計算結果より筆者作成

表 21 の結果から、直行者割合が 50%の場合、費用便益比（B/C）は最大 1.55 となる。直行者割合 41.5%のケースと比較して便益が増加している。時間価値が最小の場合、B/C が 1 を超えるのは、時間短縮が 8 分のケースのみである。しかし、時間価値が最大の場合は、6 分以上の時間短縮で B/C が 1 を超える。

[表 22: 直行者割合が 61.5%の場合における費用便益（With 1）の感度分析]

直行者割合 [%]	空港利用 者の時間 価値[円/ 分]	時間短縮量 [分]	総便益 [億円]	費用 [億円]	純便益 [億円]	B/C (費用便益比)
61.5 (最大値)	37.4 (基準 値)	1	135.87	861	-725.13	0.16
		2	271.74	861	-589.26	0.32
		3	407.61	861	-453.39	0.47
		4	543.48	861	-317.52	0.63
		5	679.35	861	-181.65	0.79
		6	815.22	861	-45.78	0.95
		7	951.09	861	90.09	1.10
		8	1086.96	861	225.96	1.26
	55.95 (最大 値)	1	196.39	861	-664.61	0.23
		2	392.78	861	-468.22	0.46
		3	589.16	861	-271.84	0.68
		4	785.55	861	-75.45	0.91
		5	981.94	861	120.94	1.14
		6	1178.33	861	317.33	1.37
		7	1374.72	861	513.72	1.60
		8	1571.10	861	710.10	1.82

注: シミュレーション及び計算結果より筆者作成

表 22 の結果から、直行者割合が 61.5%の場合、費用便益比（B/C）は最大 1.82 となり、直行者割合が低いケースよりも便益が大幅に向上している。時間価値が最小の場合でも、時間短縮が 7 分以上で B/C>1 となり、最大の場合は 5 分以上で B/C>1 を達成する。ゆえに、直行者割合が高いほど事業の便益が向上し、比較的短い時間短縮でも費用を上回る便益を得られる可能性が示された。

4.4.2. 千歳線最高速度引き上げ事業&新千歳空港駅スルー化事業

千歳線最高速度引き上げ事業&新千歳空港駅スルー化事業（With 3）における感度分析の結果は表 23~25 の通りに纏められる。これより、便益が最も大きくなるシナリオにおいても With 3 が費用が便益を上回ることが示され、千歳線最高速度引き上げ事業及び新千歳空港駅スルー化事業の同時実施は推奨されないと判断される。

[表 23: 直行者割合が 41.5%の場合における費用便益（With 3）の感度分析]

直行者割合[%]	空港利用者の時間価値 [円/分]	時間短縮量 [分]	総便益 [億円]	費用 [億円]	純便益 [億円]	B/C (費用便益比)
41.5 (最小値)	37.4 (基準値)	1	167.29	6061	-5893.71	0.03
		2	270.67	6061	-5790.33	0.04
		3	374.06	6061	-5686.94	0.06
		4	477.45	6061	-5583.55	0.08
		5	580.83	6061	-5480.17	0.10
		6	684.22	6061	-5376.78	0.11
		7	787.60	6061	-5273.40	0.13
		8	890.99	6061	-5170.01	0.15
	55.95 (最大値)	1	208.12	6061	-5852.88	0.03
		2	352.35	6061	-5708.65	0.06
		3	496.57	6061	-5564.43	0.08
		4	640.80	6061	-5420.20	0.11
		5	785.02	6061	-5275.98	0.13
		6	929.24	6061	-5131.76	0.15
		7	1073.47	6061	-4987.53	0.18
		8	1217.69	6061	-4843.31	0.20

注: シミュレーション及び計算結果より筆者作成

直行者割合が 41.5%の場合、費用便益比（B/C）は最大でも 0.20 にとどまり、便益が費用を大幅に下回る結果となった。時間短縮が 8 分の場合でも純便益は依然としてマイナスであり、本事業の妥当性は極めて低いことが示された。

[表 24: 直行者割合が 50%の場合における費用便益（With 3）の感度分析]

直行者割合 [%]	空港利用 者の時間 価値[円/ 分]	時間短縮量 [分]	総便益 [億円]	費用 [億円]	純便益 [億円]	B/C (費用便益比)
50 (基準値)	37.4 (基準 値)	1	181.09	6061	-5879.91	0.03
		2	298.28	6061	-5762.72	0.05
		3	415.47	6061	-5645.53	0.07
		4	532.67	6061	-5528.33	0.09
		5	649.86	6061	-5411.14	0.11
		6	767.05	6061	-5293.95	0.13
		7	884.24	6061	-5176.76	0.15
		8	1001.43	6061	-5059.57	0.17
	55.95 (最大 値)	1	230.29	6061	-5830.71	0.04
		2	396.69	6061	-5664.31	0.07
		3	563.08	6061	-5497.92	0.09
		4	729.47	6061	-5331.53	0.12
		5	895.87	6061	-5165.13	0.15
		6	1062.26	6061	-4998.74	0.18
		7	1228.66	6061	-4832.34	0.20
		8	1395.05	6061	-4665.95	0.23

注: シミュレーション及び計算結果より筆者作成

直行者割合が 50%の場合でも、費用便益比（B/C）は最大 0.23 と低く、便益が費用を超えることはなかった。時間価値が最大のケースでも純便益は大幅なマイナスを示し、事業の実施には費用便益分析の観点からその妥当性が乏しいと判断される。

[表 25: 直行者割合が 61.5%の場合における費用便益（With3）の感度分析]

直行者割合 [%]	空港利用 者の時間 価値[円/ 分]	時間短縮量 [分]	総便益 [億円]	費用 [億円]	純便益 [億円]	B/C (費用便益比)
61.5 (最大値)	37.4 (基準 値)	1	199.77	6061	-5861.23	0.03
		2	335.64	6061	-5725.36	0.06
		3	471.51	6061	-5589.49	0.08
		4	607.38	6061	-5453.62	0.10
		5	743.25	6061	-5317.75	0.12
		6	879.12	6061	-5181.88	0.15
		7	1014.99	6061	-5046.01	0.17
		8	1150.86	6061	-4910.14	0.19
	55.95 (最大 値)	1	260.29	6061	-5800.71	0.04
		2	456.68	6061	-5604.32	0.08
		3	653.06	6061	-5407.94	0.11
		4	849.45	6061	-5211.55	0.14
		5	1045.84	6061	-5015.16	0.17
		6	1242.23	6061	-4818.77	0.20
		7	1438.62	6061	-4622.38	0.24
		8	1635.00	6061	-4426.00	0.27

注: シミュレーション及び計算結果より筆者作成

直行者割合が 61.5%に増加しても、費用便益比（B/C）は最大 0.27 にとどまり、事業の便益が費用を上回ることにはなかった。時間短縮が 8 分のケースでも純便益は依然として大きなマイナスであり、事業の実施は困難であることが示された。

第5節 結論

5.1. 政策的含意

以上の結果より、千歳線輸送品質向上政策として純便益の観点から実施が推奨されるのは「千歳線最高速度引き上げ事業」であることが示された。そして、政策提言として以下の方針を示す。

第一に、千歳線最高速度引き上げ事業の優先的推進である。本事業は、札幌駅から新千歳空港駅までの移動時間を短縮し、利用者の利便性を向上させるものであり、費用対効果の観点からも実施が妥当であることが確認された。特に、時間短縮便益が旅行者やビジネス利用者の選好に適合し、鉄道利用促進につながることを期待される。そのため、速やかに事業化を進め、事業費の調達方法や工期の短縮に向けた調整を進めることが求められる。

第二に、新千歳空港駅スルー化事業の再検討である。本事業は、新千歳空港駅を経由する形で道南・道東方面への直通運行を可能にするものであるが、現時点の費用便益分析では、社会的便益がプラスにならないことが確認された。このため、スルー化事業の実施は慎重に判断し、現状の鉄道需要や混雑状況を踏まえた追加分析を行うことが必要である。特に、スルー化による利便性向上がどの程度の需要増加につながるのかを定量的に把握し、事業実施の必要性を精査することが求められる。

第三に、便益費用比が高い代替策の検討である。新千歳空港駅の輸送改善を目指す場合、大規模なインフラ投資を伴わずに実施可能な施策についても検討する必要がある。例えば、運行ダイヤの最適化や、既存の快速エアポートの増便、輸送力の強化を通じて、利便性の向上を図ることができる。また、新技術を活用した需要予測の精度向上や、政策導入の段階的实施によるコストの分散も検討すべきである。

5.2. 今後の課題

今後の研究課題として、「建設費の見積もりの精緻化」、「特定の2駅間の利用者数データの精緻化」、「需要が増加し利用者が増えた場合の便益の計算」が上げられる。

建設費の見積もりについて、分析の際に述べたように今回のスルー化と同一の事業を行った過去事例が存在しなかったため、スルー化と類似度が高いプロジェクトでの費用をこの分析で用いた。しかし実際にはどれほどの距離のトンネル建設が必要になるか、土地の取得代がいくらになるかなど複数の変数によって建設費の値は変動しうるため、より高精度な工事費の見積もりを行うことがスルー化の費用便益分析をより精緻なものとするために必要となる。

加えて特定の2駅間の利用者数について、本分析では重力モデルに基づき、いくつかの仮定を置くことでシミュレーションを行って各駅間の利用者数の数値を得た。しかしこの数値はあくまでシミュレーション上のものであり、現実との旅客流動と一致していない可能性を十分に否定できない。特に快速エアポートの利用者のうち札幌駅から新千歳空港駅まで乗り通す乗客の割合を50%と仮定しており、この数値が大きくなると列車に相対的に長時間乗る乗客が増えることから時間短縮便益は大きくなると考えられる。一方でこの数値が小さくなると逆に時間短縮便益は小さくなると考えられる。このことから2駅間の利用者数の正確のデータが利用できればそれを利用する方が望ましいと言える。

さらにスルー化の実施に伴う需要の増加などセカンダリーマーケットの変化を捉えられていない。現状で示した通り、新千歳空港自体の利用者数の傾向や沿線が進む事業により千歳線の利用者数は今後増加が続くと考えられる。またスルー化が実現し所要時間の短縮や混雑の緩和が達成されることによるほかの交通手段からの移転の可能性についてもこの分析では触れられていない。特に需要が増加する場合は便益を受ける対象者の数も増えるため、この分析で得られた便益よりも大きい便益が生じる可能性がある。これらの問題の克服は今後の課題である。

謝辞

本稿の執筆に当たり、2024 年度講義『公共政策の経済評価』にて親身に御助言いただいた指導教官の岩本康志教授及びティーチングアシスタントの遠藤瑞季氏に厚く御礼申し上げます。他にも、講義内において、受講生の皆様より大変貴重なフィードバックをいただき、本分析の内容を深化させることができた。改めて感謝を申し上げます。

なお、本研究での分析結果及び提言は筆者たち個人の見解であり、誤りは総て筆者たちに帰する。

参考文献

- [1]朝日新聞(2019)「高速化へ120億円負担」2019年5月16日配信
<http://www.asahi.com/area/hokkaido/articles/MTW20190516011700001.html>(2025年1月12日参照)
- [2]株式会社 Land Price Japan(2025)「土地価格相場が分かる土地代データ」(2025年1月29日参照)
- [3]国土交通省(2008)「時間価値原単位について」
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hyouka-syuhou/2pdf/3.pdf> (2025年1月20日参照)
- [4]国土交通省(2012)「鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル(2012改訂版)」
<http://www.mlit.go.jp/common/000224631.pdf> (2025年1月20日参照)
- [5]国土交通省(2016)「最近の代表的な高架切替事例と効果」
<https://www.mlit.go.jp/common/001027642.pdf> (2025年1月29日参照)
- [6]国土交通省(2021)「駅別乗降客数データ」
https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-S12-v3_1.html (2025年1月12日参照)
- [7]国土交通省(2022)「鉄道関係公共事業の評価結果 令和4年3月発表分」
<https://www.mlit.go.jp/common/001474780.pdf> (2025年1月29日参照)
- [8]国土交通省(2024)「暦年・年度別空港管理状況調書」
https://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000185.html (2025年1月20日参照)
- [9]国土交通省(2024)「令和5年度・航空旅客動態調査」
<https://www.mlit.go.jp/koku/content/001611252.pdf> (2025年1月20日参照)
- [10]国土交通省(2024)「都道府県(全国)最高価格地(住宅地・商業地)を用いた平均価格指数」
https://www.mlit.go.jp/tochi_fudousan_kensetsugyo/content/001724997.pdf (2025年1月29日参照)
- [11]札幌市(2023)「令和4年度新千歳空港における観光客動態調査」
<https://www.city.sapporo.jp/keizai/kanko/program/documents/r4sintitosetyousahoukoku.pdf>
(2025年1月20日参照)
- [12]新千歳空港(2025)「開港以来の航空乗降客数」
<https://www.hokkaido-airports.com/ja/new-chitose/business/airport/passengers/since-opening/>
(2025年1月12日参照)
- [13]立川市(2009)「京成本線の立体化及び沿線まちづくりに関する有識者委員会からの提言」
<https://www.city.ichikawa.lg.jp/common/000057213.pdf> (2025年1月29日参照)
- [14]千歳市企画部次世代半導体拠点推進室(2025)「最先端の半導体を千歳市から世界へ」
<https://chitose-semiconductor.jp/> (2025年1月12日参照)
- [15]鳥取県(2025)「鳥取県高速化事業」
<https://www.pref.tottori.lg.jp/87075.htm> (2025年1月29日参照)
- [16]日本経済新聞(2019)「JR東、品川駅を大規模改修」2019年3月15日配信

- <https://www.nikkei.com/article/DGKKZO42470490U9A310C1L72000/> (2025 年 1 月 29 日参照)
- [17]日本経済新聞 (2025) 「日ハムの F ビレッジ、24 年来場者 400 万人強 球団好調で」
2025 年 1 月 8 日配信
<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOFC086TV0Y5A100C2000000/msockid=308d55c150166833364140ac517269bd> (2025 年 1 月 12 日参照)
- [18]北海道医療大学 (2023) 「北海道ボールパーク F ビレッジ 新キャンパス設置について」 <https://www.hoku-iryo-u.ac.jp/topics/information/1055424/> (2025 年 1 月 12 日参照)
- [19]北海道エアポート株式会社 (2025) 「会社概要 (運営空港)」 <https://www.hokkaido-airports.co.jp/company/airports.php> (2025 年 1 月 29 日参照)
- [20]読売新聞オンライン (2024) 「新千歳空港、国内線初の 2000 万人超…2023 年度 コロナ明けで往来活発化」 2024 年 4 月 24 日配信
<https://www.yomiuri.co.jp/local/hokkaido/news/20240424-OYTNT50000/> (2025 年 1 月 12 日参照)
- [21]de Dios Ortúzar, J., & Willumsen, L. G. (2024) 「Modelling transport」 John Wiley & Sons (2025 年 1 月 12 日参照)
- [22]Google 社 (2025) 「Google マップ、Google Earth」
<https://www.google.com/intl/ja/permissions/geoguidelines/> (2025 年 2 月 6 日参照)
- [23]JR 北海道 (2019) 「北海道新幹線新函館北斗・札幌間の高速化の要請について」
https://www.jrhokkaido.co.jp/CM/Info/press/pdf/20190515_KO_Shinkansen%20speed.pdf
(2025 年 1 月 29 日参照)
- [24]JR 北海道 (2023) 「JR 北海道グループ中期経営計画 2026」
<https://www.jrhokkaido.co.jp/corporate/mi/vision/20240329-01.pdf> (2025 年 1 月 12 日参照)
- [25]JR 北海道 (2024) 「ゴールデンウィーク期間ご利用状況のお知らせ」
https://www.jrhokkaido.co.jp/CM/Info/press/pdf/20240507_KO_GWresult.pdf (2025 年 1 月 12 日参照)
- [26]JR 北海道 (2024) 「【社長会見】 収入・利用状況」
https://www.jrhokkaido.co.jp/CM/Info/press/pdf/20241218_KO_income.pdf (2025 年 1 月 12 日参照)
- [27]JR 北海道 (2024) 「新千歳空港駅 年間乗車人数」
https://www.jrhokkaido.co.jp/corporate/company/com_03.html (2025 年 1 月 20 日参照)
- [28]JR 北海道 (2024) 「千歳線新駅設置の工事着手について」
https://www.jrhokkaido.co.jp/CM/Info/press/pdf/20240711_KO_Kitahirosima_co-creation.pdf
(2025 年 1 月 12 日参照)
- [29]JRTT 鉄道・運輸機構 (2025) 「北海道新幹線」

<https://www.jr-tt.go.jp/project/hokkaido.html> (2025 年 1 月 12 日参照)

[30]Yahoo! JAPAN (2025) 「Yahoo!路線情報」 <https://transit.yahoo.co.jp/> (2025 年 2 月 6 日参照)

付録

(1) 重力モデルにおける正規化定数 k の導出

重力モデルは次の式で与えられる：

$$x_{ij} = k \cdot \frac{P_i \cdot P_j}{d_{ij}^n}$$

全フローの総和（未正規化）は以下の式で表される：

$$\text{flow_sum} = \sum_i \sum_{j \neq i} \frac{P_i \cdot P_j}{d_{ij}^n}$$

これはすべての駅間で未正規化フローを合計したものである。

制約条件として、フローの総和が観測された総フローと一致する：

$$\text{flow_total} = \sum_i \sum_{j \neq i} x_{ij}$$

正規化された総フローを計算する：

$$\sum_i \sum_{j \neq i} x_{ij} = \sum_i \sum_{j \neq i} k \cdot \frac{P_i \cdot P_j}{d_{ij}^n}$$

ここで、 k を取り出して式を変形すると：

$$k = \frac{\sum_i \sum_{j \neq i} x_{ij}}{\sum_i \sum_{j \neq i} \frac{P_i \cdot P_j}{d_{ij}^n}}$$

すなわち、

$$k = \frac{\text{flow_total}}{\text{flow_sum}}$$

付録

(2) 千歳線沿線の踏切の衛星データによる場所特定

- ① ひばりヶ丘通（北光）
- ② 7 線大通（北陽）
- ③ 市場通（上長都）
- ④ 黄金中央 4（恵庭） … 恵庭ふるさと公園から西南 260 メートル
- ⑤ 茂漁通（恵庭）
- ⑥ 中島町 5（恵庭） … 西 60 メートル
- ⑦ 恵のさとみ一丁目（恵庭）
- ⑧ 西島松（恵庭）
- ⑨ 島松停車場線（恵庭）
- ⑩ 島松本町 1-1（恵庭）
- ⑪ 南の里（北広島）
- ⑫ 南の里（北広島） … 南の里の踏切から北 500 メートル
- ⑬ 音根別川隣（北広島）
- ⑭ 西の里（北広島） … 北広島エルフィンロード隣
- ⑮ 北郷東ひまわり公園（北広島） … 白石駅から 300 メートル
- ⑯ 東 8 丁目篠路通（札幌）

出典：Google マップに基づいて整理した。

(3) 札幌～新千歳空港の運転区間における車両運行情報

出典：JR 北海道（2024）「2024 年 3 月ダイヤ改正について」、JR 北海道（2025）「エアポート」、JR 北海道（2025）「列車ガイド」、YAHOO!JAPAN（2025）に基づいて整理した。

付録

(4) 時間短縮便益の算出に際し利用したスクリプト（プログラミング言語：Python）

```
1. import pandas as pd
2. from scipy.sparse.csgraph import floyd_warshall
3.
4. # 駅リストと乗降客数
5. stations = ["札幌", "新札幌", "北広島", "恵庭", "千歳", "南千歳", "新千歳空港"] # 快速エアポートの
   停車駅
6. boarding_counts = {
7.     "札幌": 196244,
8.     "新札幌": 28842,
9.     "北広島": 15410,
10.    "恵庭": 14750,
11.    "千歳": 18150,
12.    "南千歳": 3112,
13.    "新千歳空港": 35420,
14. } # 各駅の日間乗降客数
15.
16. # 利用者数の数値
17. total_users = 21219200 # 千歳線快速エアポートの年間利用者数(新千歳空港駅~札幌駅の区間利用)
18. direct_rate = 0.5 # 直行者の割合
19. flow_total = (total_users * direct_rate / 2) # 片道の利用者フローの総数(通勤需要)
20.
21. # 時間短縮割合
22. time_saving_ratio = 8 / 37 # 最大短縮時間:8分、運転の平均時間:37分
23. time_saved_total = 8 # 直通者の時間短縮(分)
24.
25. # Value of Time(VoT)
26. value_of_time = 37.4 # 円/分
27.
28. # 直通者の便益計算
29. direct_flow = total_users * direct_rate # 札幌~新千歳空港の直通者
30. direct_benefit = direct_flow * time_saved_total * value_of_time
31.
32. # 距離行列(未接続区間を無限大として設定)
33. distance_matrix = pd.DataFrame(float('inf'), index=stations, columns=stations)
34. for start, end, time in [
35.     ("札幌", "新札幌", 9),
```

```

36.     ("新札幌", "北広島", 8),
37.     ("北広島", "恵庭", 7),
38.     ("恵庭", "千歳", 6),
39.     ("千歳", "南千歳", 4),
40.     ("南千歳", "新千歳空港", 3),
41. ]:
42.     distance_matrix.loc[start, end] = time
43.     distance_matrix.loc[end, start] = time # 両方向を設定
44.
45. # 対角成分をゼロに設定
46. for station in stations:
47.     distance_matrix.loc[station, station] = 0
48.
49. # 重力モデルの計算(フロー)
50. shortest_distances = pd.DataFrame(
51.     floyd_warshall(distance_matrix.values), index=stations, columns=stations
52. )
53. flow_matrix = pd.DataFrame(0.0, index=stations, columns=stations)
54. beta = 1.5 # 距離への感度(距離減衰パラメータ)
55.
56. # 重力モデルのフローを計算
57. for i, start in enumerate(stations):
58.     for j, end in enumerate(stations):
59.         if i < j: # 上三角部分のみ計算
60.             M_i = boarding_counts[start]
61.             M_j = boarding_counts[end]
62.             D_ij = shortest_distances.loc[start, end]
63.             if D_ij > 0: # 距離が正の場合のみ計算
64.                 flow_matrix.loc[start, end] = (M_i * M_j) / (D_ij ** beta) # 重力モデルの式
65.
66. # フロー行列の正規化
67. flow_sum = flow_matrix.sum().sum()
68. flow_matrix = flow_matrix * (flow_total / flow_sum) # 正規化定数の導出は付録(1)に参照
69.
70. # 時間短縮行列の計算(通勤需要)
71. time_saved_matrix = pd.DataFrame(0.0, index=stations, columns=stations)
72. shortest_paths = floyd_warshall(distance_matrix.values)
73. for i, start in enumerate(stations):
74.     for j, end in enumerate(stations):

```

```

75.         if i != j:
76.             original_time = shortest_paths[i, j]
77.             new_time = original_time * (1 - time_saving_ratio)
78.             time_saved_matrix.loc[start, end] = original_time - new_time
79.
80. # 時間短縮便益行列の計算(通勤需要)
81. benefit_matrix = pd.DataFrame(0.0, index=stations, columns=stations)
82. for i, start in enumerate(stations):
83.     for j, end in enumerate(stations):
84.         if i != j:
85.             time_saved = time_saved_matrix.loc[start, end]
86.             flow = flow_matrix.loc[start, end]
87.             benefit_matrix.loc[start, end] = flow * time_saved * value_of_time
88.
89. # 残り50%の利用者の総便益
90. indirect_benefit = benefit_matrix.sum().sum()
91.
92. # 総便益の計算
93. total_benefit = direct_benefit + indirect_benefit
94.
95. # データフレーム表示の設定変更
96. pd.set_option('display.max_rows', None) # 全行を表示
97. pd.set_option('display.max_columns', None) # 全列を表示
98. pd.set_option('display.width', None) # 横幅を制限しない
99. pd.set_option('display.float_format', '{:.2f}'.format) # 小数点の表示形式
100.
101. # 結果出力
102. print("直通者の便益(円): {:.2f}".format(direct_benefit))
103. print("\n 最短距離行列(必要時間):")
104. print(shortest_distances)
105. print("\n 重力モデルによる利用者フロー行列(正規化後):")
106. print(flow_matrix)
107. print("\n 各駅間の時間短縮(分):")
108. print(time_saved_matrix)
109. print("\n 各駅間の時間短縮便益(円):")
110. print(benefit_matrix)
111. print(f"\n 総便益(年間, 億円): {total_benefit / 1e8:.2f} 億円")
112.
113. import matplotlib.pyplot as plt

```

```

114. import seaborn as sns
115.
116. # 日本語フォントの設定
117. plt.rcParams['font.family'] = 'Hiragino Sans'
118.
119. # 各行列をヒートマップで表示する関数
120. def plot_heatmap(matrix, title, xlabel, ylabel, cmap="YlGnBu"):
121.     plt.figure(figsize=(10, 8))
122.     sns.heatmap(matrix, annot=True, fmt=".2f", cmap=cmap, cbar_kws={"label": "値"})
123.     plt.title(title, fontsize=16)
124.     plt.xlabel(xlabel, fontsize=12)
125.     plt.ylabel(ylabel, fontsize=12)
126.     plt.xticks(rotation=45, fontsize=10)
127.     plt.yticks(rotation=0, fontsize=10)
128.     plt.tight_layout()
129.     plt.show()
130.
131. # 最短距離行列の可視化
132. plot_heatmap(shortest_distances, "最短距離行列(必要時間)", "目的地", "出発地")
133.
134. # 利用者フロー行列の可視化
135. plot_heatmap(flow_matrix, "重力モデルによる利用者フロー行列(正規化後)", "目的地", "出発地")
136.
137. # 各駅間の時間短縮の可視化
138. plot_heatmap(time_saved_matrix, "各駅間の時間短縮(分)", "目的地", "出発地")
139.
140. # 各駅間の時間短縮便益(円)を億円単位に変換
141. benefit_matrix_in_billion = benefit_matrix / 1e8
142.
143. # 各駅間の時間短縮便益の可視化(億円単位)
144. plot_heatmap(benefit_matrix_in_billion, "各駅間の時間短縮便益(億円)", "目的地", "出発地")

```

付録

(5)感度分析の算出に際し利用したスクリプト（プログラミング言語：Python）

```
1. import pandas as pd
2. import numpy as np
3. from scipy.sparse.csgraph import floyd_warshall
4.
5. # 主要駅のリスト(札幌～新千歳空港)
6. stations = ["札幌", "新札幌", "北広島", "恵庭", "千歳", "南千歳", "新千歳空港"]
7.
8. # 各駅の1日あたりの乗降客数
9. boarding_counts = {
10.     "札幌": 196244,
11.     "新札幌": 28842,
12.     "北広島": 15410,
13.     "恵庭": 14750,
14.     "千歳": 18150,
15.     "南千歳": 3112,
16.     "新千歳空港": 35420,
17. }
18.
19. # 年間利用者数(快速エアポート利用者数の往復合計)
20. total_users = 21219200
21.
22. # 札幌～新千歳空港の直行者割合(最小値・基準値・最大値)
23. travel_rates = [0.415, 0.50, 0.615]
24.
25. # 移動時間の価値(VoT, Value of Time)
26. vot_cases = [(37.4, 37.4), (37.4, 55.95)] # (通常の移動者, 直行利用者)
27.
28. # 駅間の移動時間(分単位)を定義
29. distance_matrix = pd.DataFrame(float('inf'), index=stations, columns=stations)
30. for start, end, time in [
31.     ("札幌", "新札幌", 9),
32.     ("新札幌", "北広島", 8),
33.     ("北広島", "恵庭", 7),
34.     ("恵庭", "千歳", 6),
35.     ("千歳", "南千歳", 4),
36.     ("南千歳", "新千歳空港", 3),
37. ]:
```

```

38.     distance_matrix.loc[start, end] = time
39.     distance_matrix.loc[end, start] = time
40. for station in stations:
41.     distance_matrix.loc[station, station] = 0
42.
43. # 各駅間の最短移動時間を計算(フロイド・ワーシャル法)
44. shortest_paths = floyd_warshall(distance_matrix.values)
45.
46. # 検討する時間短縮のパターン(1分~8分)
47. time_saving_cases = range(1, 9)
48.
49. # 重力モデルの計算(フロー)
50. shortest_distances = pd.DataFrame(
51.     floyd_warshall(distance_matrix.values), index=stations, columns=stations
52. )
53. beta = 1.5 # 距離への感度(距離減衰パラメータ)
54.
55. def analyze_case(airport_rate, flow_vot, direct_vot):
56.     flow_total = (total_users * (1 - airport_rate) / 2)
57.     direct_benefits = {}
58.     time_shortening_benefits = {}
59.
60.     # 乗客流動マトリックス
61.     flow_matrix = pd.DataFrame(0.0, index=stations, columns=stations)
62.     for i, start in enumerate(stations):
63.         for j, end in enumerate(stations):
64.             if i < j:
65.                 M_i = boarding_counts[start]
66.                 M_j = boarding_counts[end]
67.                 D_ij = shortest_distances.loc[start, end]
68.                 flow_matrix.loc[start, end] = (M_i * M_j) / (D_ij ** beta)
69.
70.     # 正規化
71.     flow_sum = flow_matrix.sum().sum()
72.     flow_matrix = flow_matrix * (flow_total / flow_sum)
73.
74.     # 時間短縮ごとの便益計算
75.     for time_saved_total in time_saving_cases:
76.         time_saving_ratio = time_saved_total / 37

```

```

77.         time_saved_matrix = pd.DataFrame(0.0, index=stations, columns=stations)
78.
79.         for i, start in enumerate(stations):
80.             for j, end in enumerate(stations):
81.                 if i != j:
82.                     original_time = shortest_paths[i, j]
83.                     new_time = original_time * (1 - time_saving_ratio)
84.                     time_saved_matrix.loc[start, end] = original_time - new_time
85.
86.         direct_flow = total_users * airport_rate
87.         direct_benefits[time_saved_total] = direct_flow * time_saved_total * direct_vot
88.
89.         benefit_matrix = pd.DataFrame(0.0, index=stations, columns=stations)
90.         for i, start in enumerate(stations):
91.             for j, end in enumerate(stations):
92.                 if i != j:
93.                     time_saved = time_saved_matrix.loc[start, end]
94.                     flow = flow_matrix.loc[start, end]
95.                     benefit_matrix.loc[start, end] = flow * time_saved * flow_vot
96.
97.         time_shortening_benefits[time_saved_total] = benefit_matrix
98.
99.     return direct_benefits, time_shortening_benefits
100.
101. # 50 年間の評価期間 & 割引率(4%)
102. evaluation_period = 50
103. social_discount_rate = 0.04
104. discount_factor = np.array([(1 / (1 + social_discount_rate) ** t) for t in range(1, evaluation
    _period + 1)])
105.
106. # プロジェクトコスト(億円)
107. with3_costs = 21 + 840 + 5000 + 200
108. additional_benefits = 0.061 + 2.495 # 追加便益
109.
110. def analyze_with3():
111.     results_data = []
112.
113.     for airport_rate in travel_rates:
114.         for flow_vot, direct_vot in vot_cases:

```

```

115.         direct_benefits, time_shortening_benefits = analyze_case(airport_rate, flow_vot, d
        irect_vot)
116.         results = [direct_benefits[time_saved_total] + time_shortening_benefits[time_saved
        _total].sum().sum()
117.                     for time_saved_total in time_saving_cases]
118.
119.         for i, total_benefit in enumerate(results):
120.             annual_benefit = total_benefit / 1e8 + additional_benefits
121.             present_value_benefit = annual_benefit * discount_factor.sum()
122.             residual_value = annual_benefit / social_discount_rate / (1 + social_discount_
        rate) ** evaluation_period
123.             total_benefit = present_value_benefit + residual_value
124.             bc_ratio = total_benefit / with3_costs
125.             nsb = total_benefit - with3_costs
126.
127.             results_data.append([
128.                 airport_rate * 100, flow_vot, direct_vot, i + 1,
129.                 annual_benefit, present_value_benefit, residual_value,
130.                 total_benefit, bc_ratio, nsb
131.             ])
132.
133.     columns = ["直行者割合 [%]", "Flow VoT", "Direct VoT", "時間短縮量 [分]",
134.               "年間便益 [億円]", "現在価値での便益 [億円]", "残存価値 [億円]",
135.               "総便益 [億円]", "B/C(費用便益比)", "NSB(純便益) [億円]"]
136.     results_df = pd.DataFrame(results_data, columns=columns)
137.
138.     # CSVに保存
139.     results_df.to_csv("sensitivity_analysis_results.csv", index=False)
140.     print(results_df)
141.
142.     return results_df
143.
144. # 分析実行
145. results_df = analyze_with3()

```