

# Improved public transportation in rural areas with self-driving cars: A study on the operation of Swiss train lines

L. Sieber, C. Ruch, S. Hörl, K.W. Axhausen, E. Frazzoli,  
Transportation Research Part A: Policy and Practice,  
Volume 134, 2020, Pages 35-51, ISSN 0965-8564,

理論談話会 #11  
2023年5月24日(水)

交通・都市・国土学研究室  
修士1年 須藤旺大

## 【研究のサマリー】

オンデマンド型の配車システムが既存の鉄道の代替交通機関となり得るか、  
実際の地域を対象にサービスレベルと運営コストの観点から分析した。  
その結果、いくつかの地域では代替交通機関となり得ることが明らかになった。

## 【評価点】

- ・考案したシミュレーションモデルが適用可能な地域を、  
各地域の地形・交通環境を踏まえた上で適切に選定している
- ・オンデマンド型の配車システムのサービスレベル・コストを正確に評価するため、  
複数の車両運用手法を比較・検討している

## 【課題点】

- ・誘発交通や環境への影響の評価が不十分

## 【新規性】

- ・地方部を対象としたオンデマンド型交通の実現可能性に関する研究は少ない
- ・サービスレベルだけでなく、運営コストの側面からも検討している
- ・相乗り方式ではなく、Door to Door 方式を前提としている

## 【有用度】

- ・線的に発達した単純な交通ネットワークが対象であるため、疎な交通需要で、利便性・運営の問題が多い中山間地域の交通網に応用できる

## 【信頼度】

- ・複数の車両運用手法から最適なものを選んでいるため、オンデマンド型交通への評価精度が高い

地方部から、多くの交通機関が乗り入れる都心部への移動  
主な交通機関・・・自家用車

自家用車以外の移動手段・・・列車やバスなど

II

PT (public transportation) 型システム  
時刻表に従い、決められた路線を走る

【低い人口密度を原因とする、地方部のPT型システムの問題】

運営者側

少人数の乗客を乗せて長距離を運ぶ  
→採算性が悪い

利用者側

低い運行頻度、短い利用可能時間、  
長い所要時間

従来型の交通機関から、オンデマンド型の交通機関への転換が模索されている

## オンデマンド型交通システム (MoD: mobility-on-demand)

・・・利用リクエストに応じて、利用客のもとに配車する

### AMoD (autonomous mobility-on-demand)

・・・完全自動運転により、  
配車時・乗客輸送時に運転手不要

自動運転技術の発達に伴い、検討が進む



### CMoD (conventional mobility-on-demand)

・・・配車時・乗客輸送時に運転手が必要

※本研究のCMoDでは、運転手の役割は移動指示に従って運転するのみ

既存のPT型システムを、  
AmoD型またはCMoD型システムに  
置き換えるのは妥当か??

表2.1 都心部におけるオンデマンド型交通の導入に関する研究

著者	研究対象地域
Fagnant et al., 2015	オースティン(テキサス州)
Gurumurthy et al., 2019	
Simoni et al., 2019	
Bischoff and Maciejewski, 2016	ベルリン
Martinez and Viegas, 2017	リスボン
Zachariah et al., 2014	ニュージャージー
Hörl et al., 2019	シンガポール
Hörl et al., 2019	チューリッヒ



都心部におけるオンデマンド型交通システムの導入は、  
従来型の自家用車を置き換え、他の交通機関にも対抗し得る  
サービスレベル・運賃となる、と主張

→地方部へ導入した際の影響は、あまり研究が進んでいない状況

表2.2 都心部におけるオンデマンド型交通の導入に関する研究

著者	内容
Mendes et al., 2017	ニューヨークのライトレールの転換について、 交通サービスレベルの観点より考察
von Mörner, 2018	ドイツのライドシェアリング型交通の経済的実現性を分析



→地方部にオンデマンド型交通を導入した際の影響について、

- ・コストとサービスレベルの両面
  - ・複数の車両運用手法
  - ・Door to Door方式

に着目した研究は存在しない

オンデマンド型の配車システムが  
既存の鉄道の代替交通機関となり得るか、  
車両運用手法に留意して  
サービスレベルと運営コストの観点から分析する

### 【適用可能条件】

- ・線的な交通ネットワーク  
(線を横断する交通網は無い)
- ・他の公共交通機関とは、  
線の末端部分のみで接続

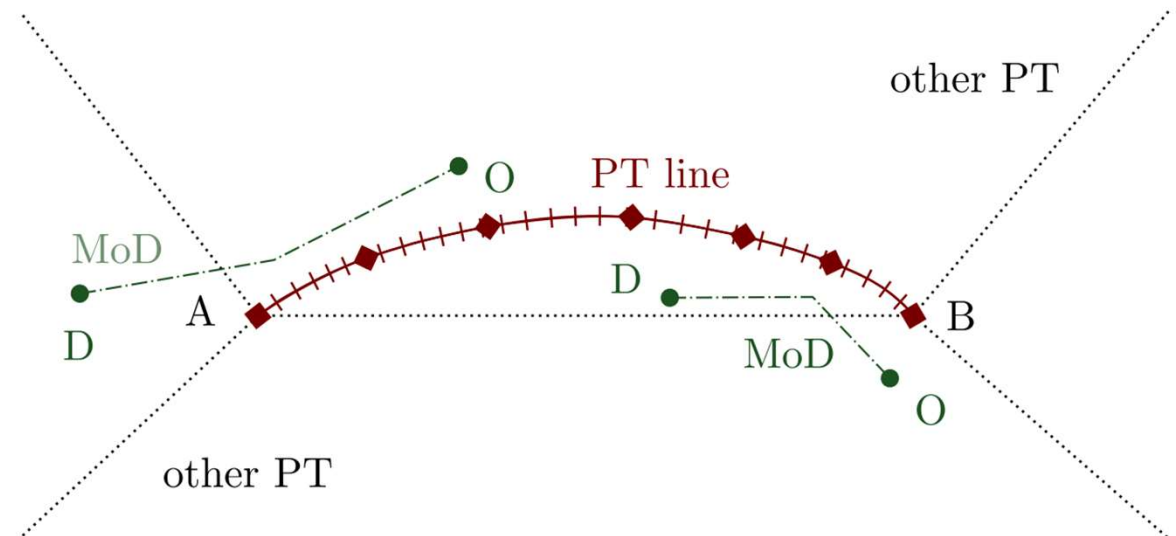


図3.1 適用可能地域の概略



前提: 交通需要は既存の鉄道・オンデマンド型交通双方で同じ

- (1) 交通需要および鉄道に関する諸情報より、  
既存の鉄道のサービスレベル・コストを算出
- (2) 交通需要およびオンデマンド型交通に関する諸情報より、  
新たに導入するオンデマンド型交通のサービスレベル・コストを算出
- (3) 得られたサービスレベル・コストを鉄道とオンデマンド型交通でそれぞれ比較

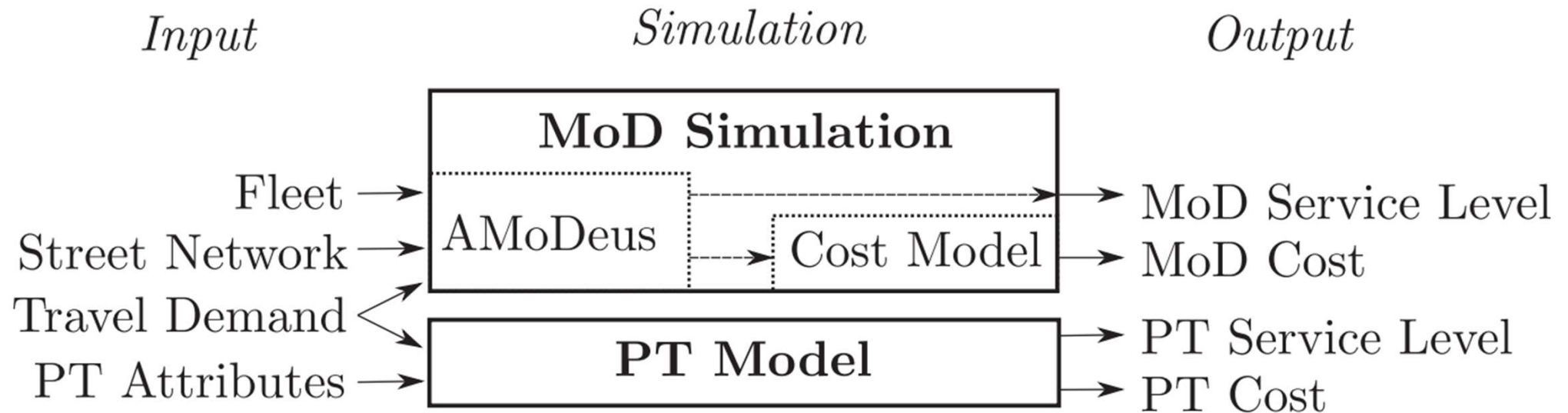


図4.1 シミュレーションモデルの概略図

## 【交通需要】

### 対象地域にてダイアリー調査を実施

→既存の鉄道が担う需要だけを取り出したい

(1) 対象地域を”Train Area”と”Access Area”に分ける

(2) トリップ発着地の一方がTrain Area内、

もう一方が (i) Access Area内

(ii) AまたはBと他の公共交通機関で接続する地域

となるトリップのみ抽出

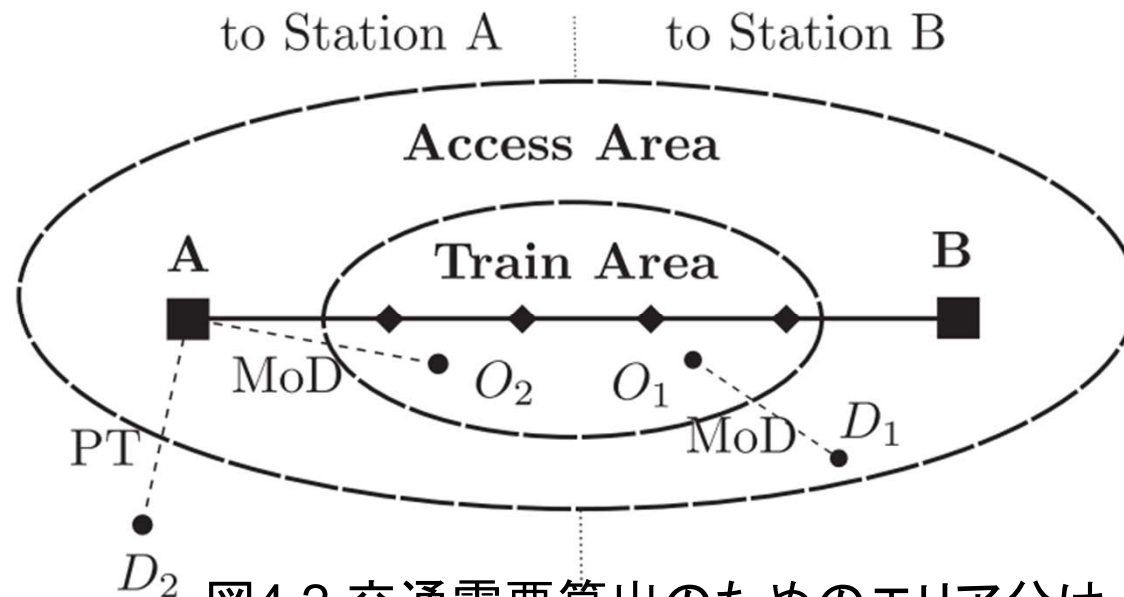
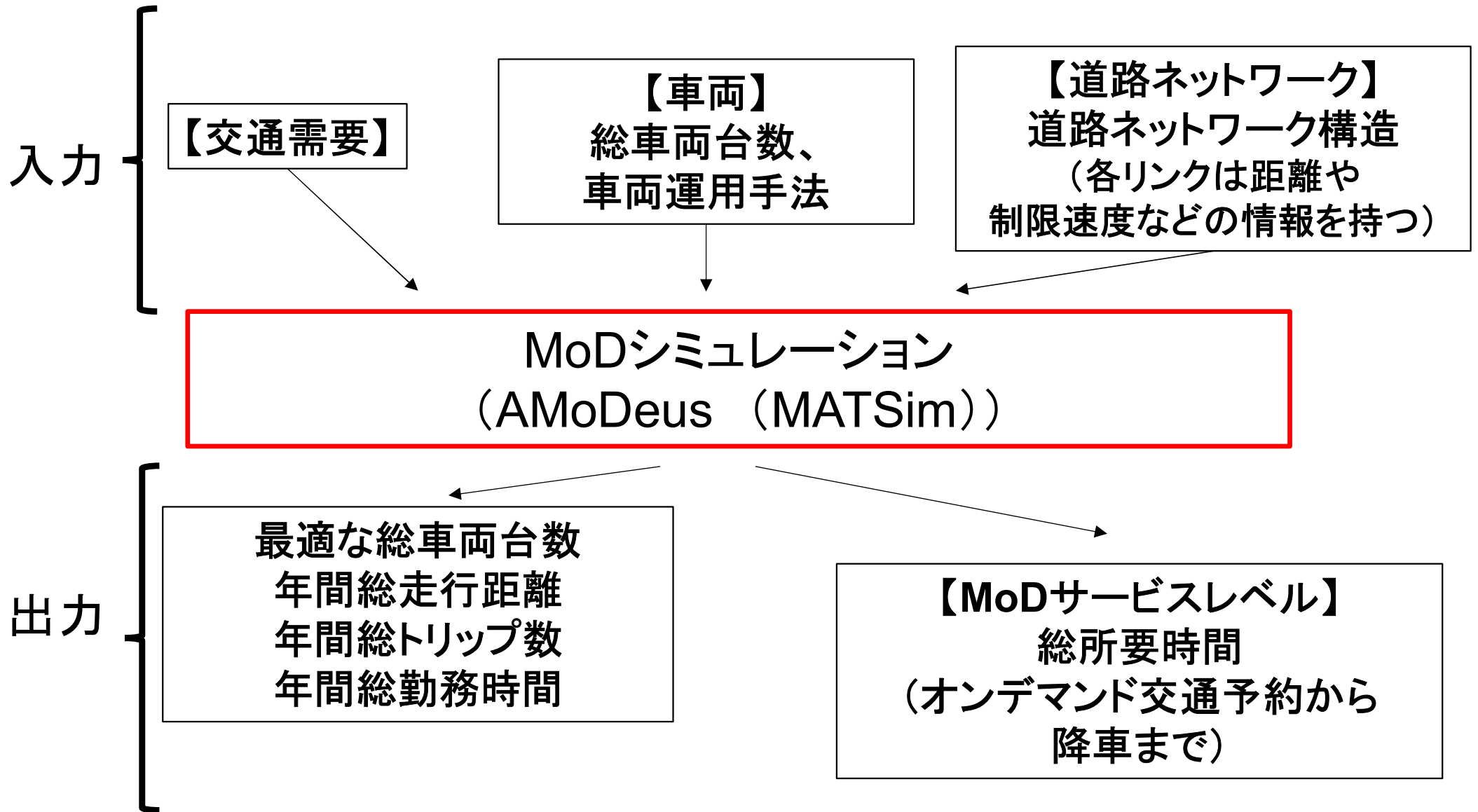


図4.2 交通需要算出のためのエリア分け

## 【オンデマンド型交通システム (MoD) のシミュレーションモデル】



年間総費用  $C_{fleet,year}$  は以下の式で表される

$$C_{fleet,year} = C_v \cdot N_v + C_{km} \cdot d_{total} + C_{trip} \cdot N_{trips} + C_{hour} \cdot t_{working}$$

$N_v$ : 最適な総車両台数,  $d_{total}$ : 年間総走行距離,

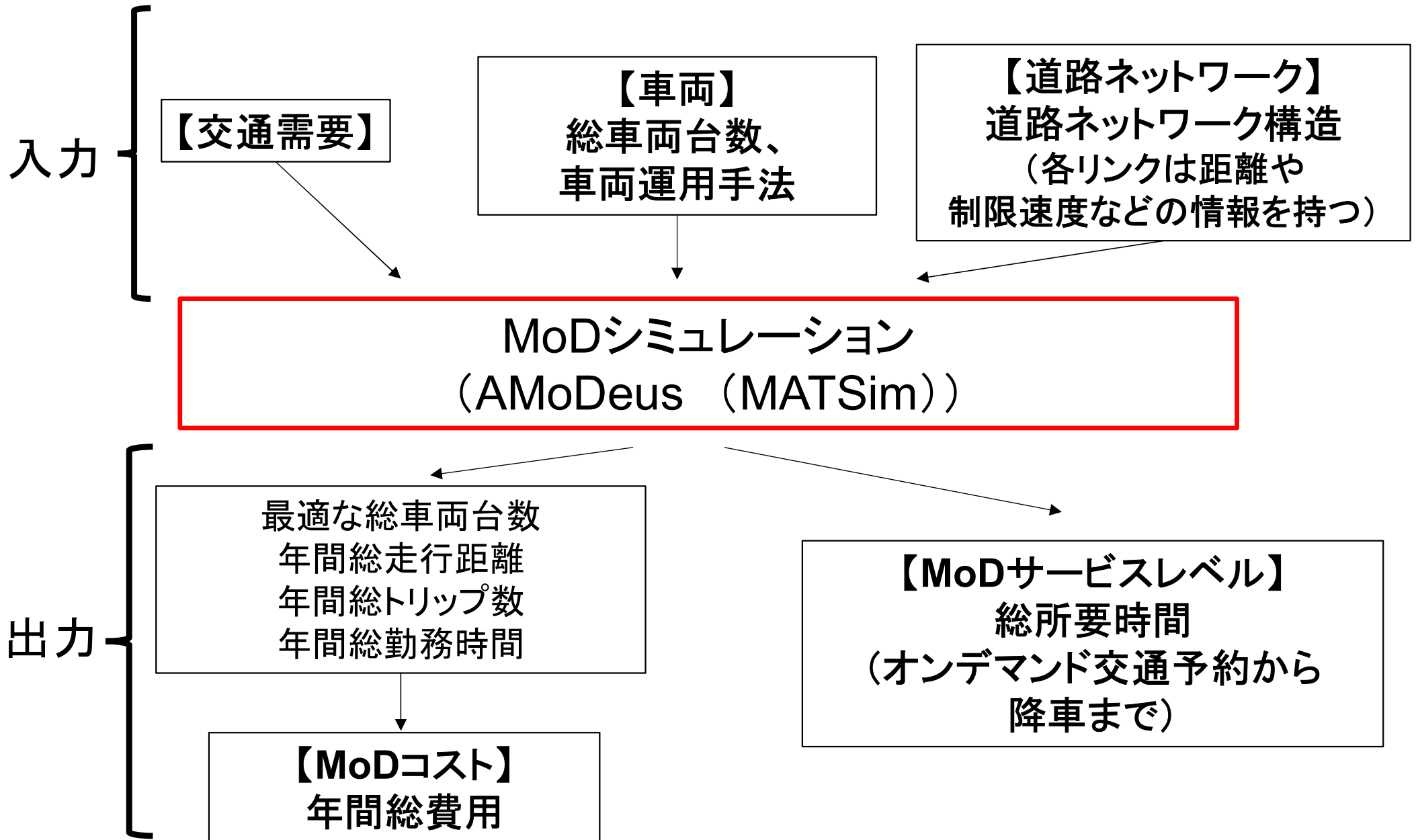
$N_{trips}$ : 年間総トリップ数,  $t_{working}$ : 年間総勤務時間

$C_v, C_{km}, C_{trip}, C_{hour}$ : パラメータ

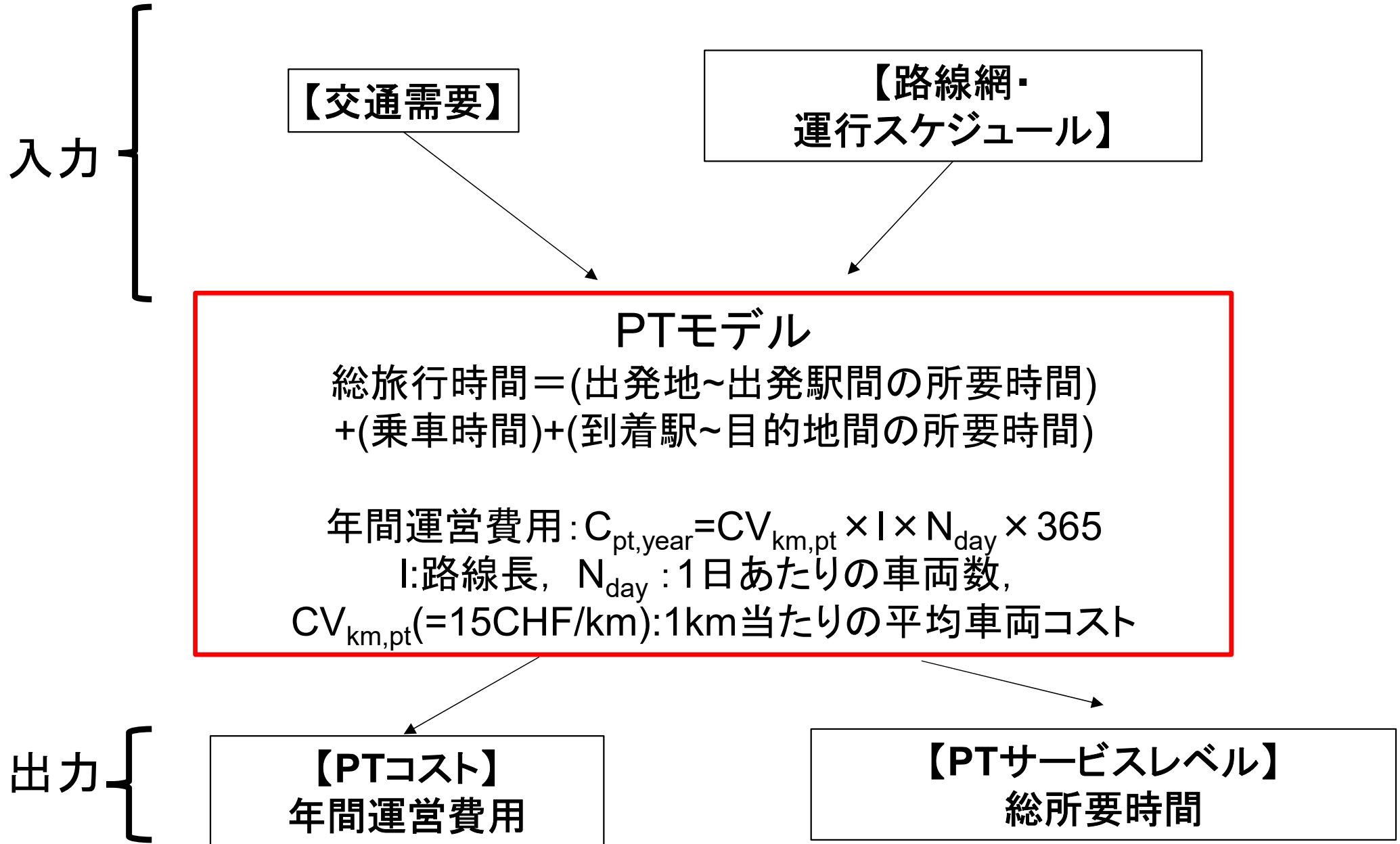
表4.1 パラメータ一覧

	Value	AMoD [CHF]	CMoD [CHF]
Per year and vehicle	Insurance	400	800
	Tax	250	250
	Parking	3495	3495
	Toll	40	40
	Overhead	5110	5110
	Vehicle Management	3650	3650
	Cleaning	0	2745
	Total ( $C_v$ )	12945	16090
Per vehicle km	Maintenance	0.045	0.045
	Tires	0.014	0.015
	Fuel	0.068	0.076
	Acquisition	0.098	0.082
	Total ( $C_{km}$ )	0.225	0.218
Per trip	Cleaning ( $C_{trip}$ )	0.375	0
per hour	Driver ( $C_{hour}$ )	0	35

## 【オンデマンド型交通システム (MoD) のシミュレーションモデル】



## 【既存の交通システム(PT)のシミュレーションモデル】



車両運用手法(配車+回送) →コスト最小&平均待ち時間5分以内  
となるように車両数決定

(1) The demand supply balancing strategy

- …最も近い利用客に車を割り当てる  
(一度決まった割り当ては変更できない)

(2) The global bipartite matching strategy

- …最も近い利用客に車を割り当てる  
(新たな利用者の出現とともに、最適になるように割り当てを変更できる)

(3) The feed forward fluidic control strategy

- …(2)+過去の乗降実データを基に、空車を適切な場所に回送

(4) The adaptive real time control strategy

- …(2)+経験を基に、空車を適切な場所に回送(過去データは不要)

(5) scenario adapted strategy

- …(2)+ピーク時に駅を利用できるように、空車を適切な場所に回送  
※線的ネットワークにのみ適用可能





- (1) ホンブルグータール(オルテン～ジツサツハ)
- (2) トウン湖(シュピーツ～ライシーゲン～デルリゲン～インターラーケン)
- (3) テスタール(ヴィンタートゥール～セアン～リュウティ)
- (4) ボンクール(ボンクール～ポラントリュイ～ドレモン)



	Scenario			
	Homburgertal	Thunersee	Tösstal	Boncourt
<b>General Line Properties:</b>				
Train Line Length [km]	18.2	18.1	41.4	10.5
Drive Time [min] End to End	22	21	57	15
Passengers per Day $R$	1,000	416	8,300	590
Stations	8	5	15	6
Stations in Train Area	5	2	12	5
Trains per Day $N_{day}$	38	38	54*	42
Passengers per Train km [1/km]	1.4	0.6	3.7	1.3
<b>Simulation Results:</b>				
Fleet Size $N$ for Peak Wait Time under 5 min	47	16	825	22
Share Ratio $R/N$	21.3	26.0	10.1	26.8
Mean Peak Wait Time [min]	4.9	4.3	4.9	4.8
Mean Wait Time [min]	3.9	3.7	3.7	3.5
Mean In-Vehicle Time [min]	14.5	10.9	18.9	11.2
Mean Travel Time MoD [min]	18.4	14.5	22.6	14.7
Mean Travel Time Train [min]	24.8	25.2	30.5	26.0
Mean Trip Distance [km]	9.36	8.64	12.41	8.22
Mean Daily Vehicle Distance Traveled [km]	253.1	290.0	170.9	289.1
Avg. Vehicle Velocity [m/s]	10.4	12.7	10.8	11.8
Distance Ratio [%]	80.4	77.5	73.1	76.3
<b>Costs: [MCHF]</b>				
Vehicles ( $C_V \cdot N_V$ )	0.61	0.21	10.68	0.29
Distance ( $C_{km} \cdot d_{total}$ )	0.97	0.38	11.52	0.52
Trips ( $C_{trip} \cdot N_{trips}$ )	0.14	0.06	1.14	0.08
Driver ( $C_{hour} \cdot t_{working}$ )	-	-	-	-
Annual Fleet Cost AMoD ( $C_{fleet,year}$ )	1.72	0.65	23.34	0.89
Vehicles ( $C_V \cdot N_V$ )	0.76	0.26	13.27	0.35
Distance ( $C_{km} \cdot d_{total}$ )	0.90	0.35	10.68	0.49
Trips ( $C_{trip} \cdot N_{trips}$ )	-	-	-	-
Driver ( $C_{hour} \cdot t_{working}$ )	4.88	1.56	55.65	2.30
Annual Fleet Cost CMoD ( $C_{fleet,year}$ )	6.54	2.17	79.60	3.14
Annual Train Costs	3.78	3.77	12.2	2.41

\* Including trains from Winterthur to Bauma proportional to the covered distance.

### 課題1：誘発交通の発生

本研究では、PT型とMoD型で交通需要は同じとした

→実際は、MoD型に置き換わり、利便性が向上することで、  
更なる需要が生まれる可能性がある

短期的影響：新しい交通機関に興味を持ち、旅行してみる

長期的影響：居住地や企業の立地が変化

交通需要の増加により、

- ・地方部に対応したMoDより、人口密集地に適した交通システムが採算性が上回る
- ・走行車両数が交通容量を超え、混雑により所要時間が増加する

という状況に対応できない

### 課題2: 環境への影響

- ・オンデマンド型交通では、配車・回送により必然的に運転距離が増加
- ・誘発交通の発生により、自動車交通量が増加

→温室効果ガスの排出が増加する可能性があり、さらなる評価が必要不可欠

- ・最長走行距離が290km/バッテリー充電型自動車が存在

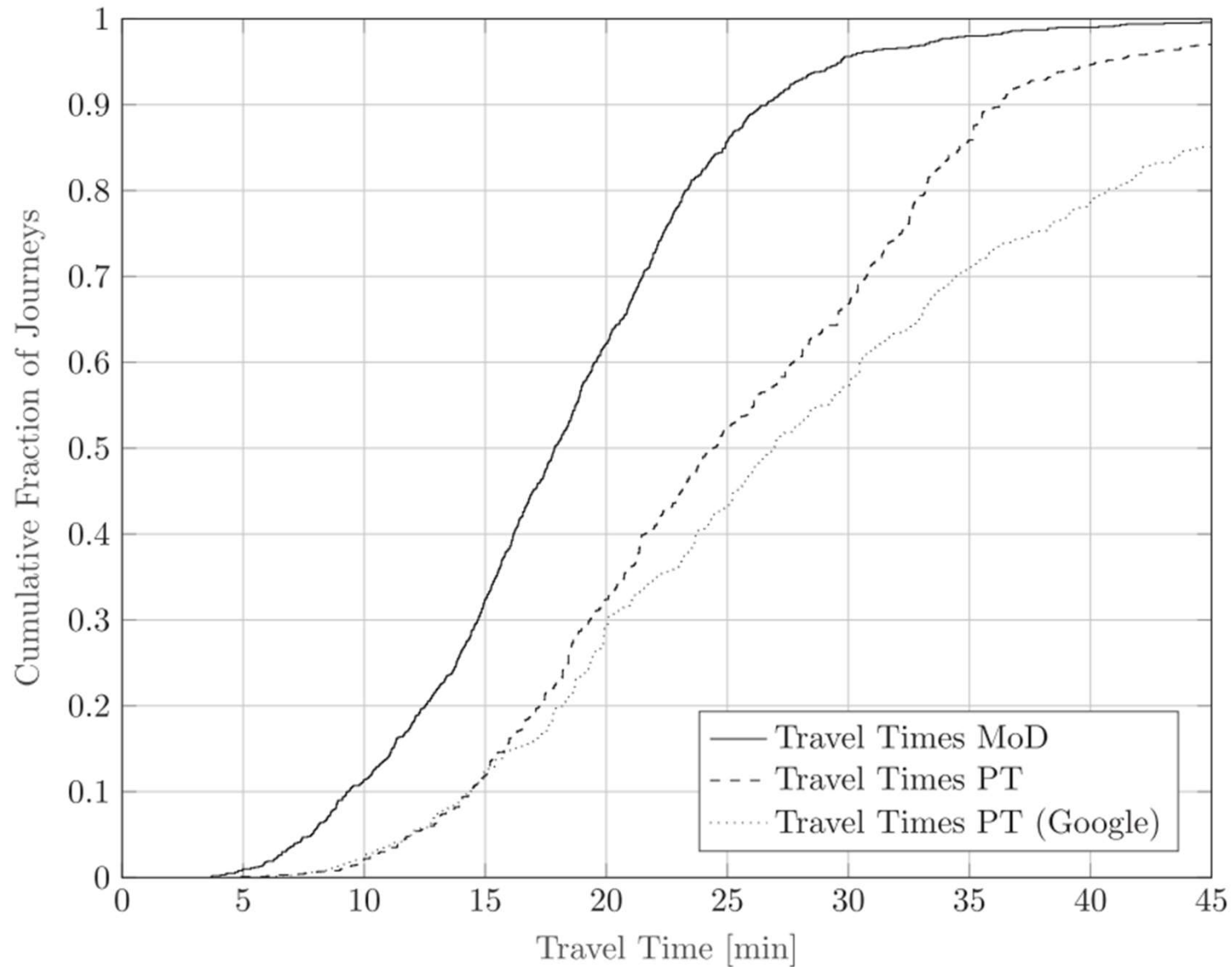
→本研究の対象地域(平均日走行距離170~290km)では、バッテリー充電型自動車の導入により、環境にやさしいオンデマンド型交通が実現できる可能性

オンデマンド型の配車システムが既存の鉄道の代替交通機関となり得るか、実際の地域を対象にサービスレベルと運営コストの観点から分析した。

4つの対象地域中、3つでPT型よりもAMod型のコストが低いことが判明した。

一方、残り一つの地域について、利用者数がもともと多いとともに、総路線長が長いため、PT型の方が費用が低い結果となった。

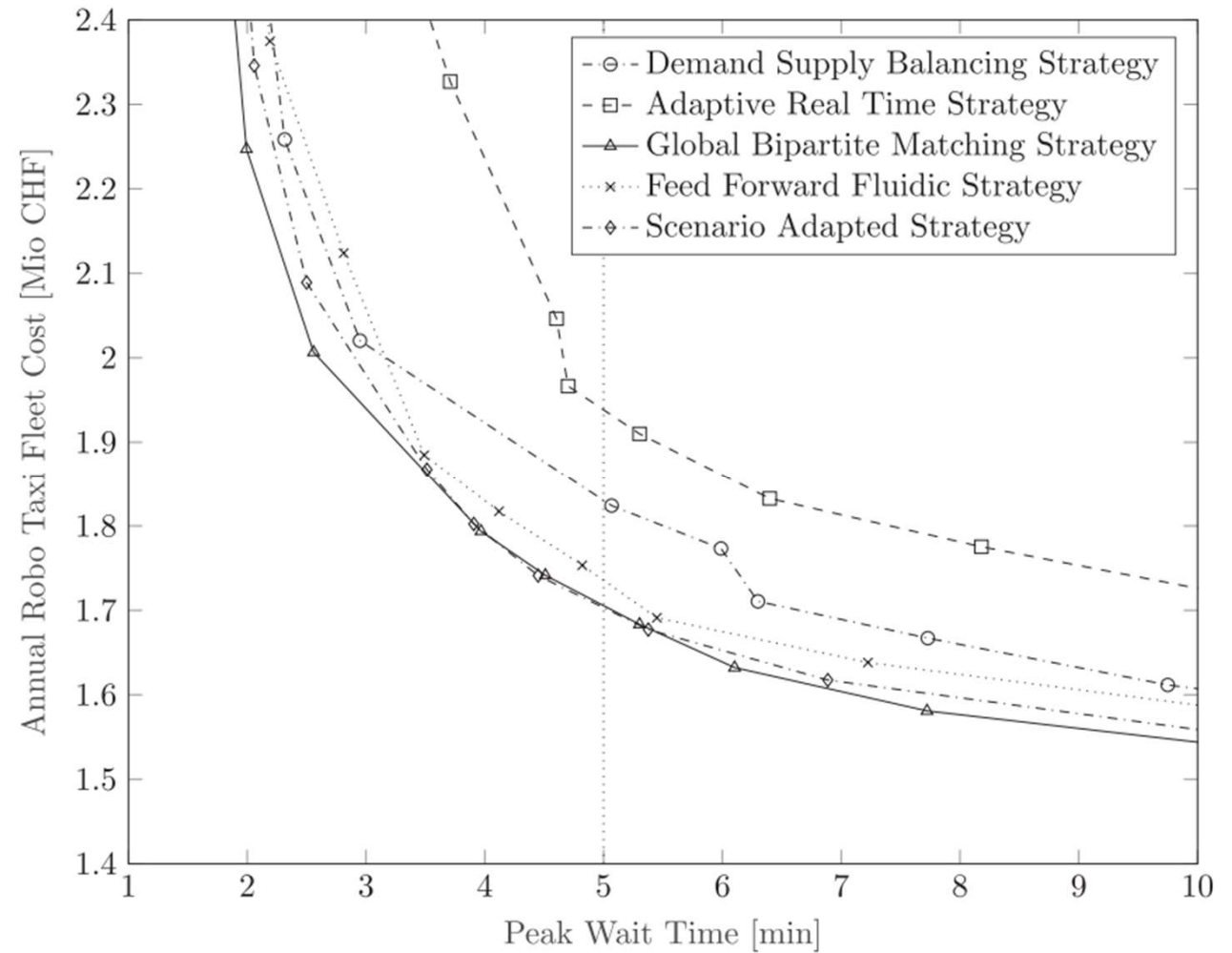
誘発交通や環境への影響の評価が不十分であり、今後更なる研究が必要である。



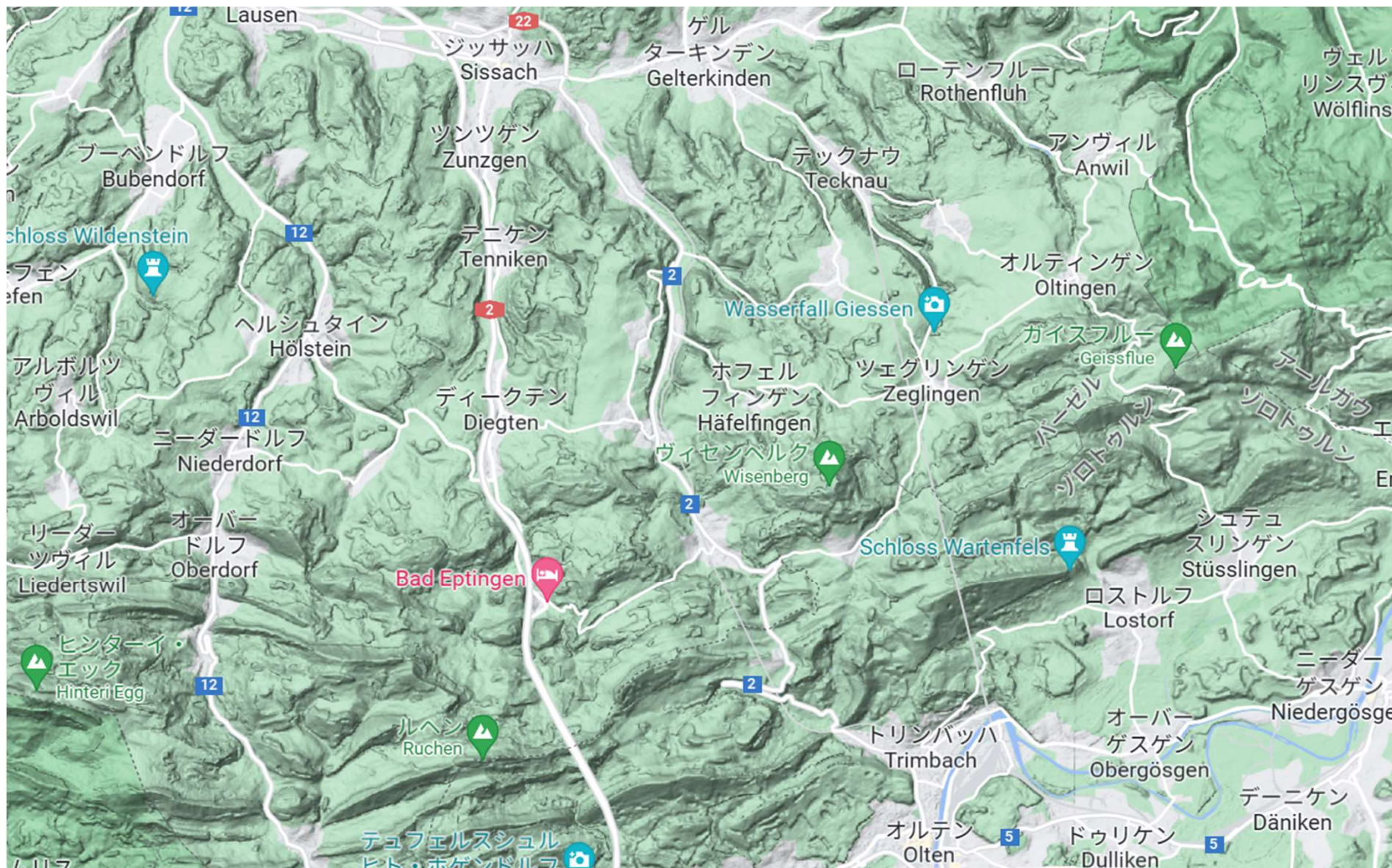
---

Control Strategy	Vehicle distances traveled per day [km]			
	Total	Customer	Pickup	Rebalancing
Demand Supply Balancing	11286	9370	1916	0
Global Bipartite Matching	10955	9363	1578	14
Adaptive Real Time	13715	9366	1751	2598
Feed Forward Fluidic	11806	9367	1408	1031
Scenario Adapted	11658	9362	1427	869

---



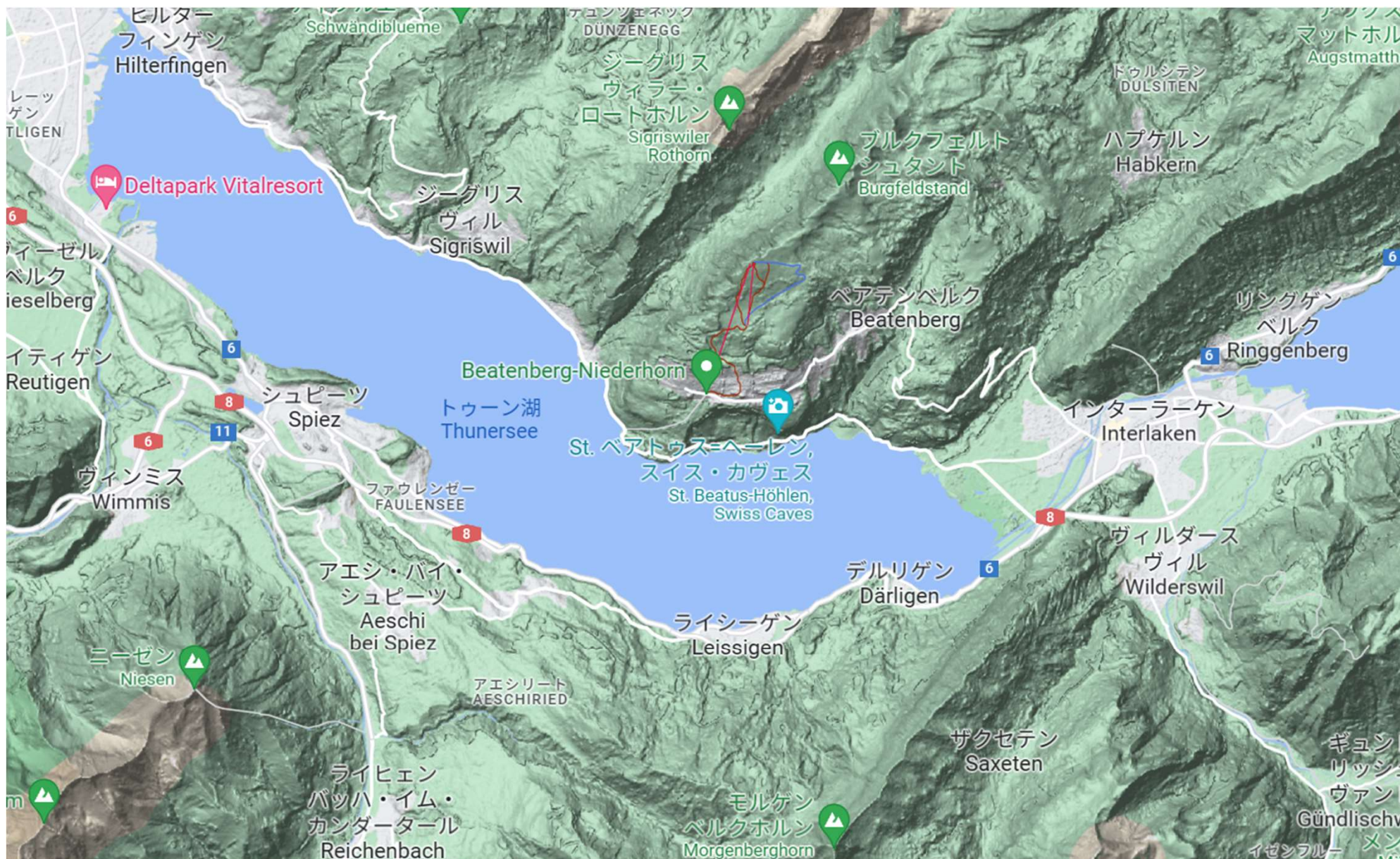




(1) ホンブルガータール(オルテン～ジッサツハ)

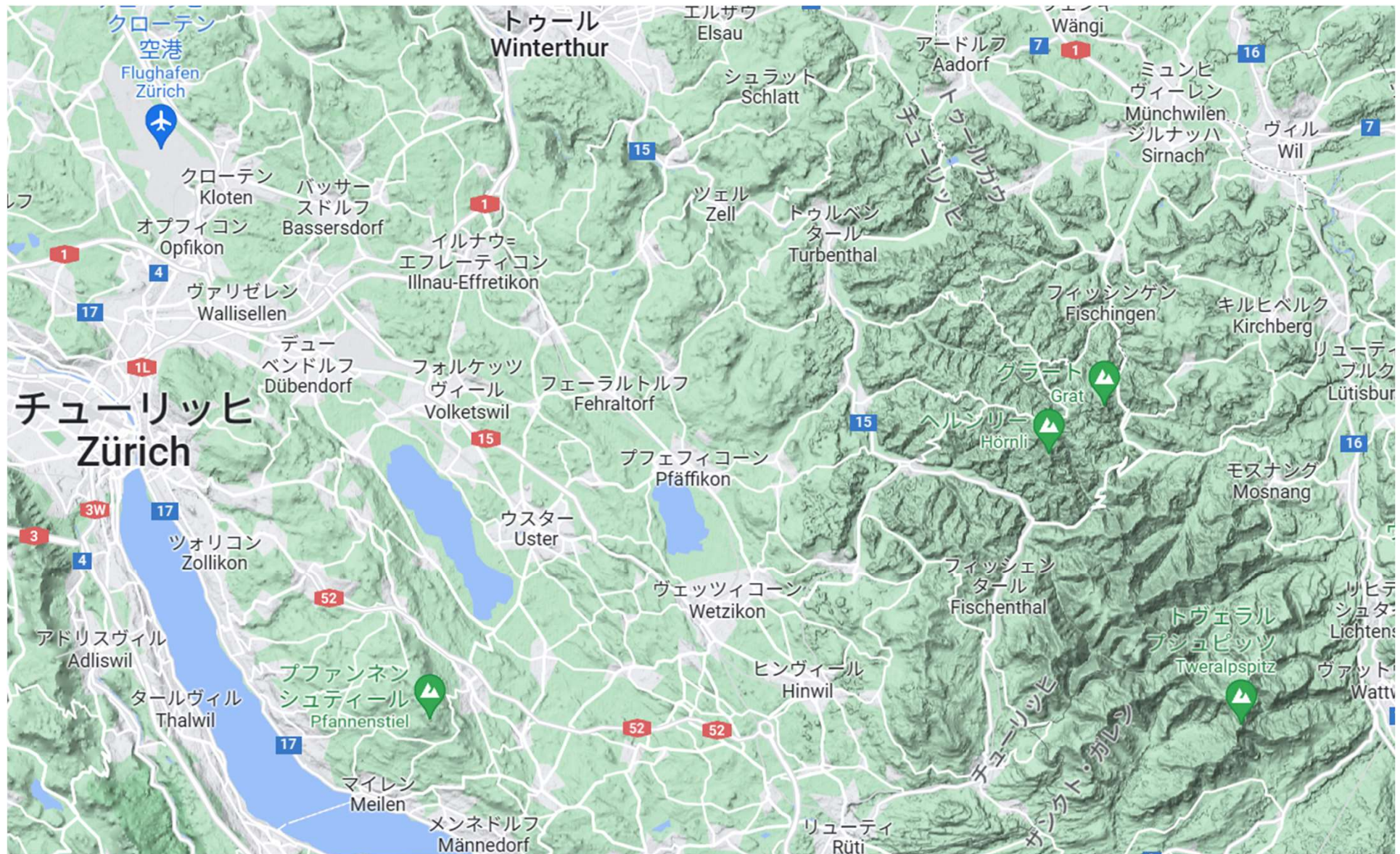


# 8. 補足(研究対象地域の詳細地図)



(2) トウン湖(シュピーツ～ライシーゲン～デルリゲン～インターラーケン)

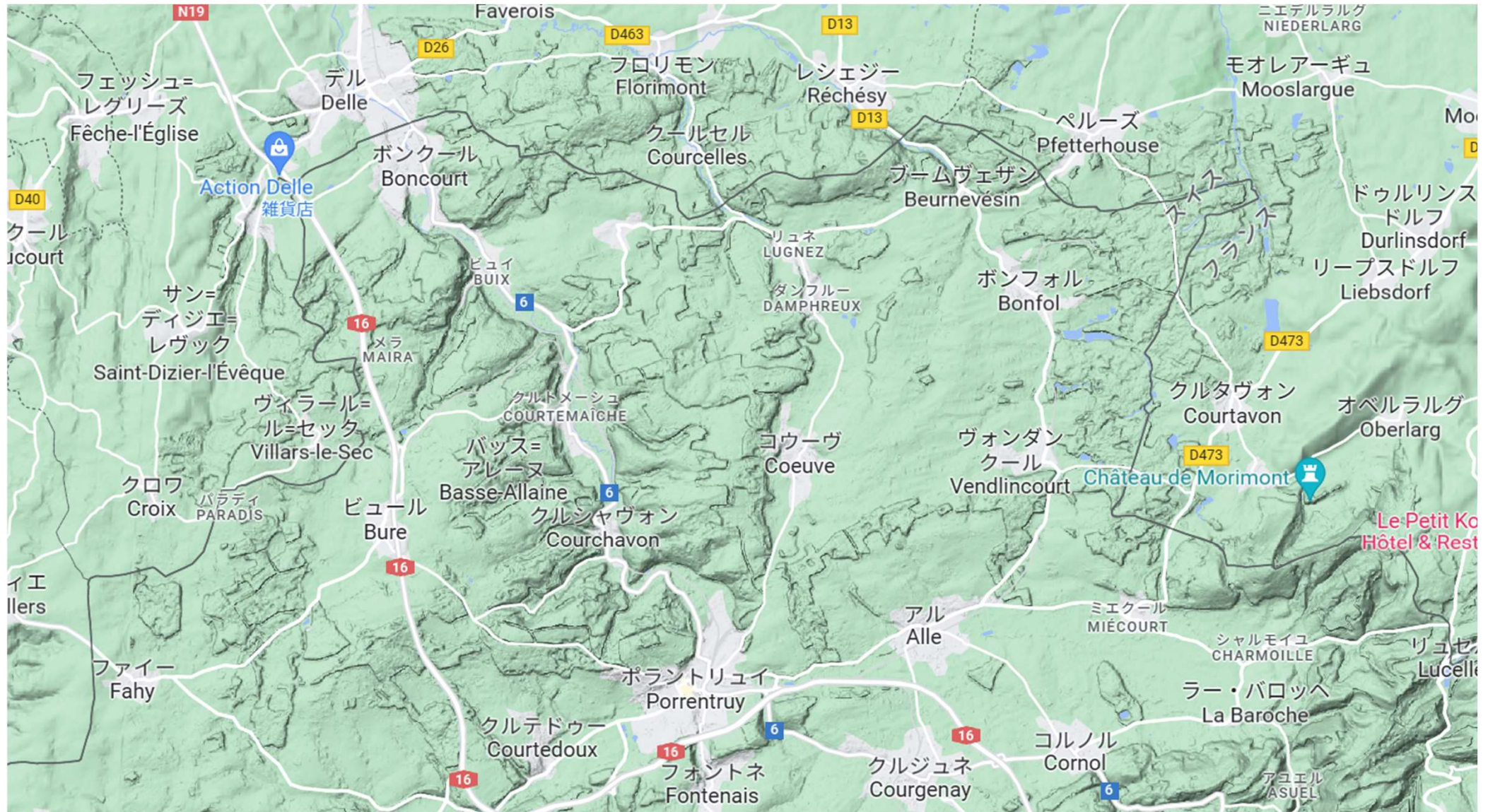




(3) テスタール(ヴィンタートウル～セアン～リューティ)



# 8. 補足(研究対象地域の詳細地図)



(4) ボンクール(ボンクール～ポラントリュイ～ドレモン)