

2023年10月10日
September 20, 2023

自動運転車による時間価値の変容と それに伴う選択確率の変化に関して

The Transformation of Time Value by Automated Cars and the Associated Change in Choice Probabilities

早稲田Aチーム Waseda Team A

海野 智揮 Unno Tomoki, 西田 賢生 Nishida Kensho, 吉田 竜聖 Yoshida Ryusei

黒田 昇吾 Kuroda Shogo, 佐野 隼弥 Sano Junya, Kilangwa Masunge MSAKI

清水 協 Shimizu Kyo, 安松 慶 Yasumatsu Kei, 相楽 純人 Sagara Junto, 西山 愛梨 Nishiyama Airi

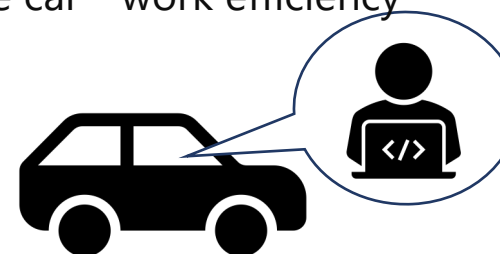
1. 背景と目的 Background & Purpose

◆背景 Background

- 自動運転の導入によって、移動時間中に運転以外の作業をすることが可能になる。
- Automatic driving makes it possible to perform tasks other than driving during travel time.
- 通勤時などにおいて仕事が可能になることで、移動時間を有効利用することができる。
- Workers can make the use of travel time because they can work while commuting.
- コストとしての所要時間は減少するのではないか。
- Traveling time as costs may reduce.

会社作業時間：30min
Working time in the company

社内作業時間*作業効率：1h*0.5 = 30min
Working time in the car * work efficiency



1. 背景と目的 Background & Purpose

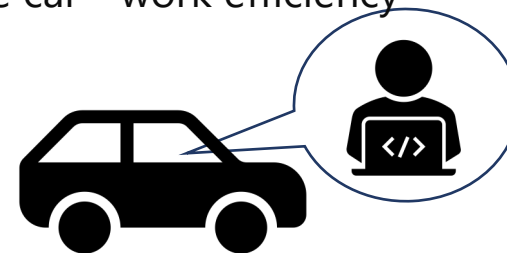
◆目的 Purpose

- 全自動運転車で通勤している場合，その時間を作業効率に見合った就業時間とみなすことで，自動車の選択確率がどう変化するかを明らかにする.
- We clarify how the probability of selecting a car changes when it is regarded as working time commensurate with work efficiency that the time to commute in an automated car.

会社作業時間：30min
Working time in the company

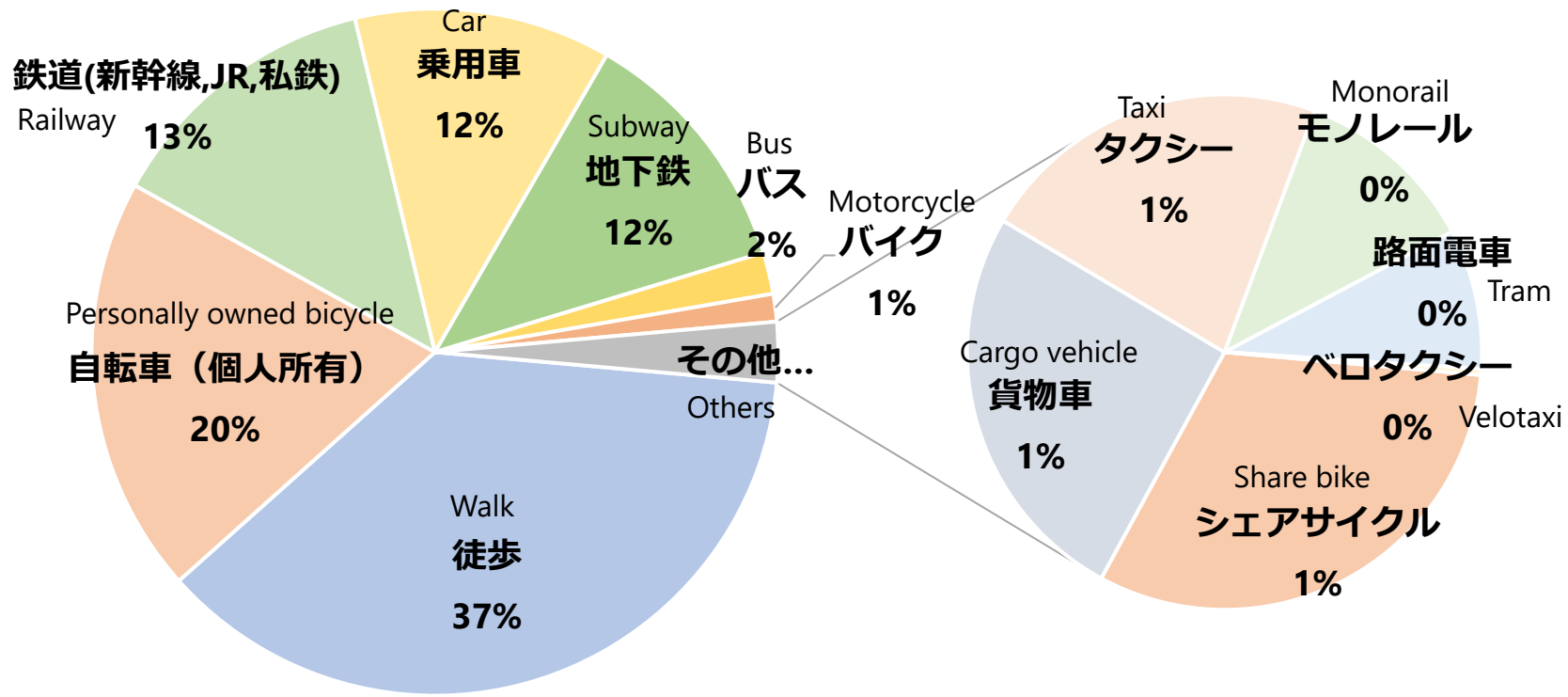


社内作業時間*作業効率：1h*0.5 = 30min
Working time in the car * work efficiency



2.1 使用データ About the data used

◆豊洲PPデータ（2021年7月, 8月, 11月） Toyosu PP Data, Jul. Aug. Nov. 2021

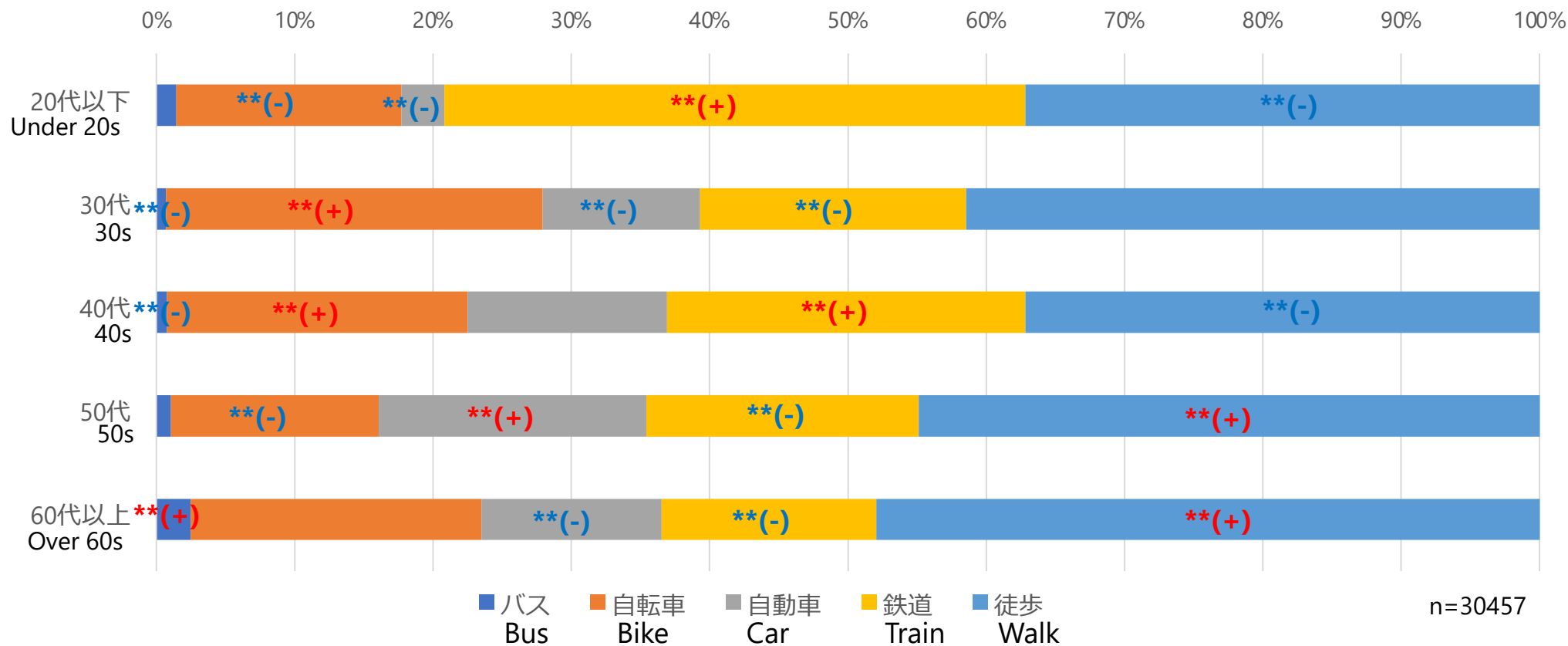


2.2 基礎分析 Basic Analysis

*(+) *(-) : 5%有意(p<0.05) 5% significant
 ***(+) ***(-) : 1%有意(p<0.01) 1% significant

年齢-交通手段 クロス集計・残差分析

Age-Transportation Crosstabulations and Residuals Analysis

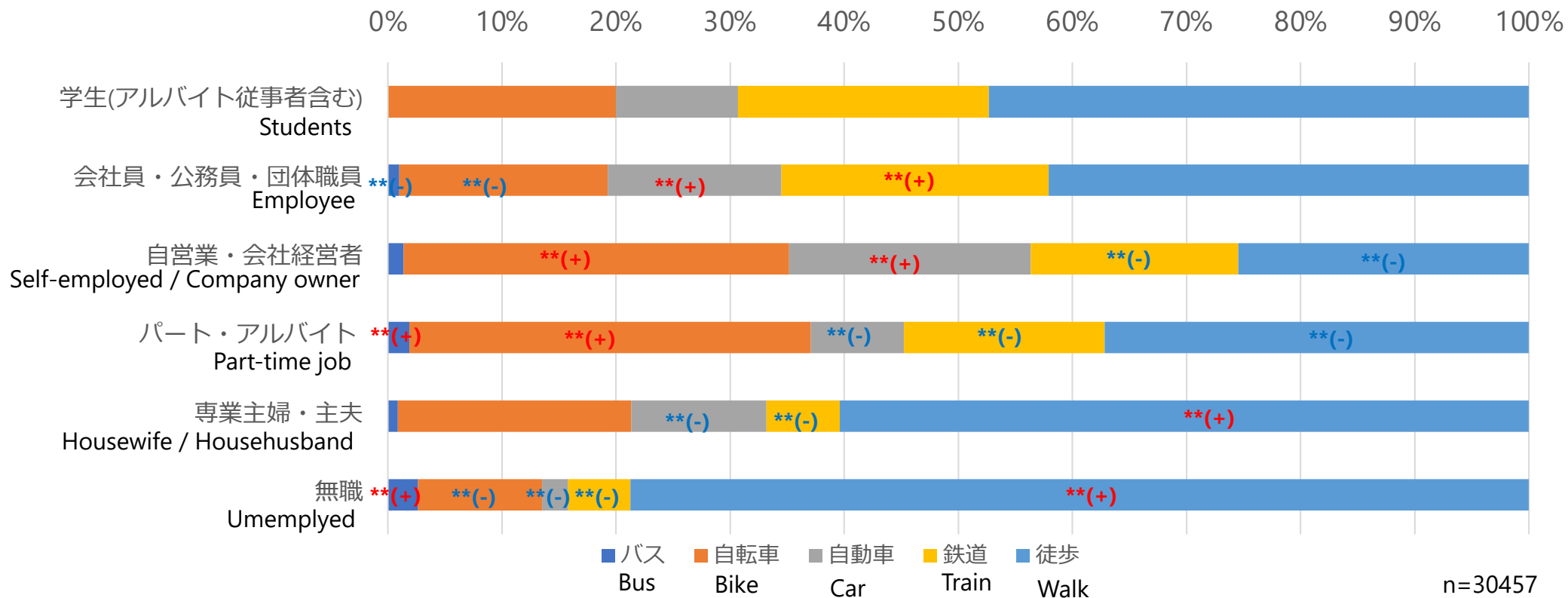


2.2 基礎分析 Basic Analysis

*(+) *(-) : 5%有意(p<0.05) 5% significant
 (+) **(-)** : 1%有意(p<0.01) 1% significant

職業-交通手段 クロス集計・残差分析

Occupation-Transportation Crosstabulations and Residuals Analysis



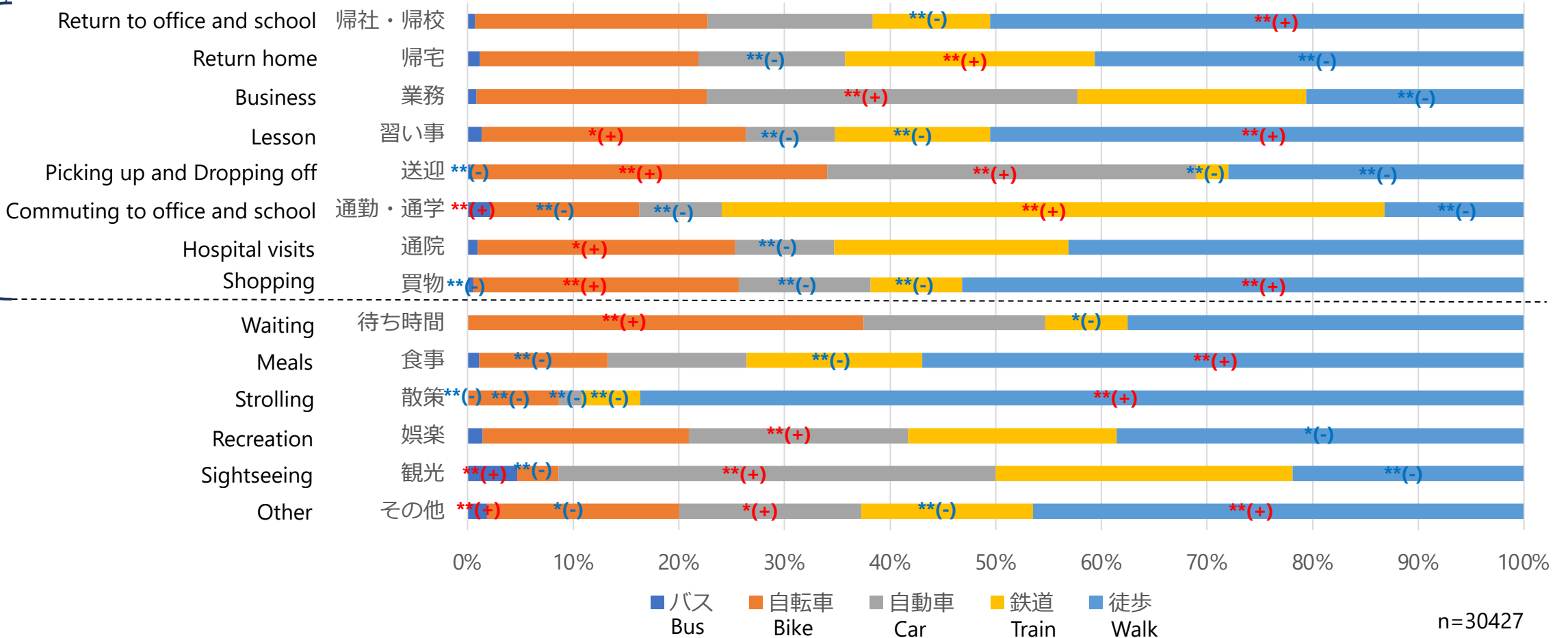
2.2 基礎分析 Basic Analysis

*(+) *(-) : 5%有意(p<0.05) 5% significant
 (+) **(-)** : 1%有意(p<0.01) 1% significant

派生需要 Derived demand

目的-交通手段 クロス集計・残差分析

Objective-Transportation Crosstabulations and Residuals Analysis

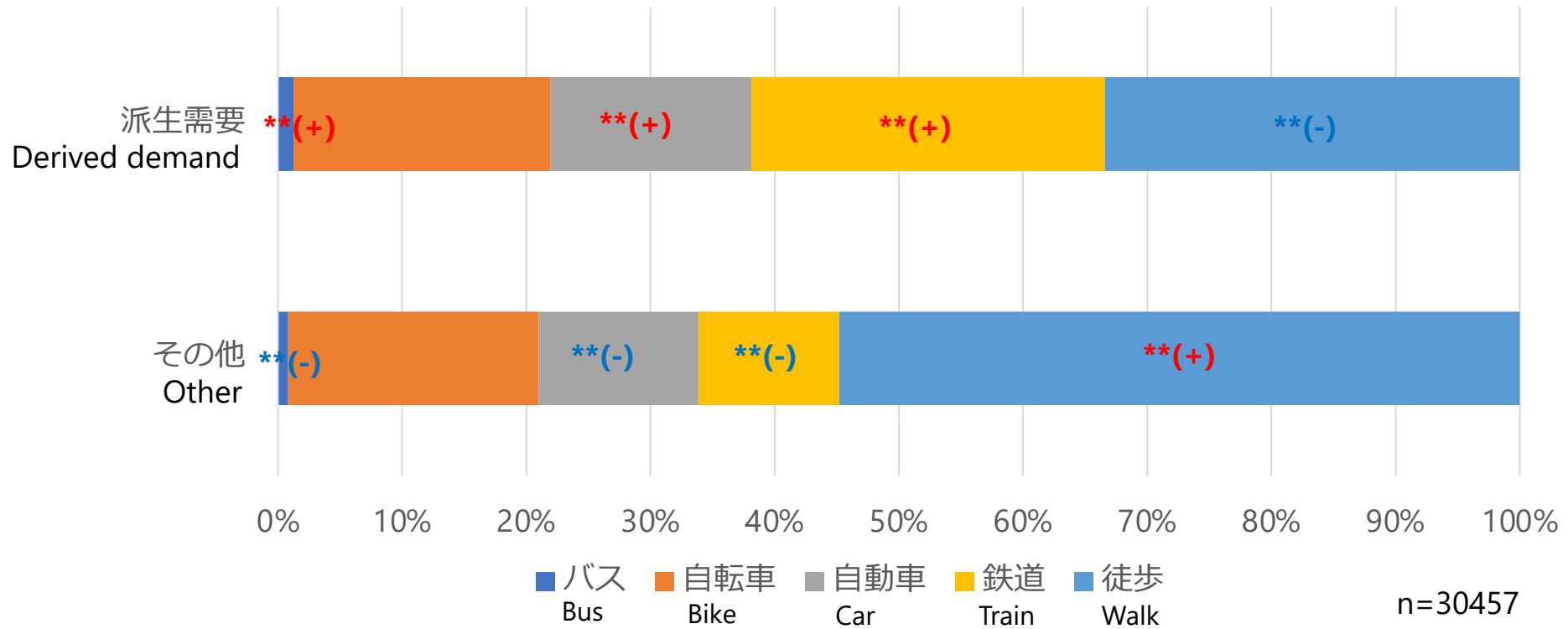


2.2 基礎分析 Basic Analysis

***(+)** ***(-)** : 5%有意(p<0.05) 5% significant
****(+)** ****(-)** : 1%有意(p<0.01) 1% significant

派生需要ダミー-交通手段 クロス集計・残差分析

Derived demand-Transportation Crosstabulations and Residuals Analysis

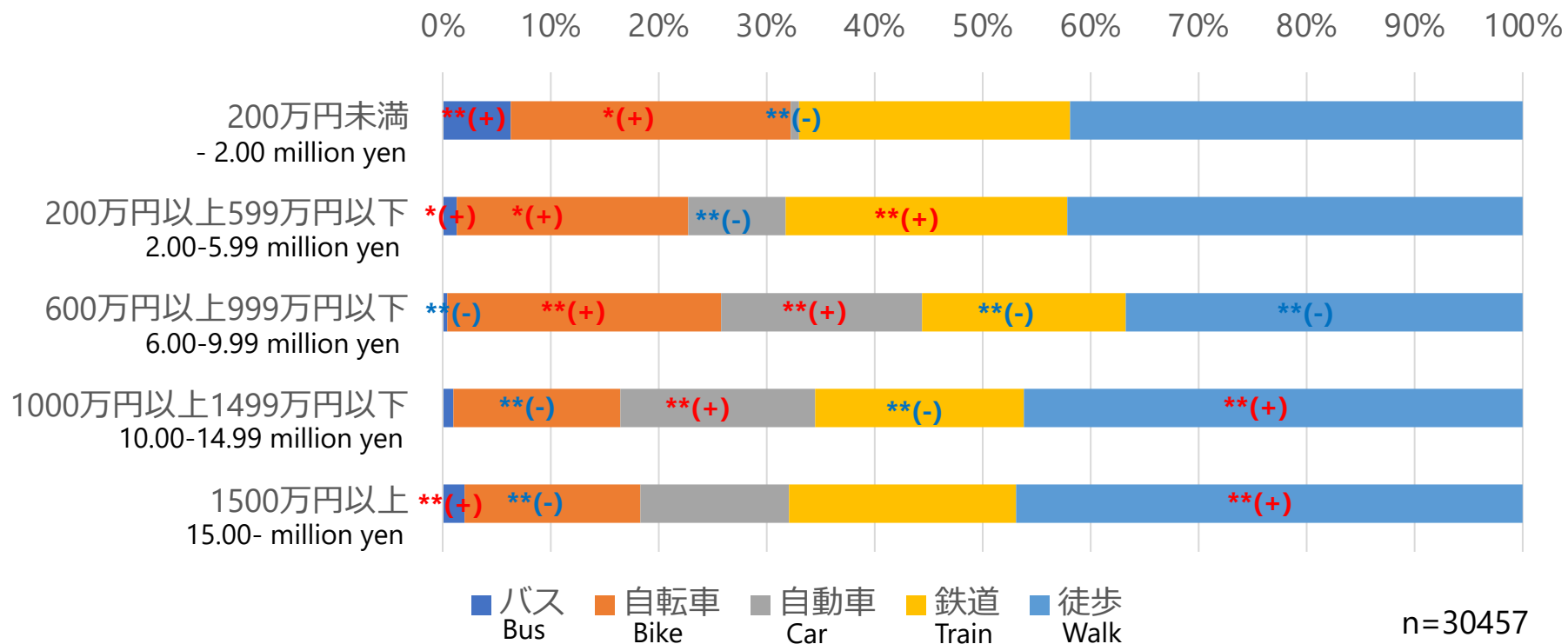


2.2 基礎分析 Basic Analysis

*(+) *(-) : 5%有意(p<0.05) 5% significant
 (+) **(-)** : 1%有意(p<0.01) 1% significant

収入-交通手段 クロス集計・残差分析

Income-Transportation Crosstabulations and Residuals Analysis

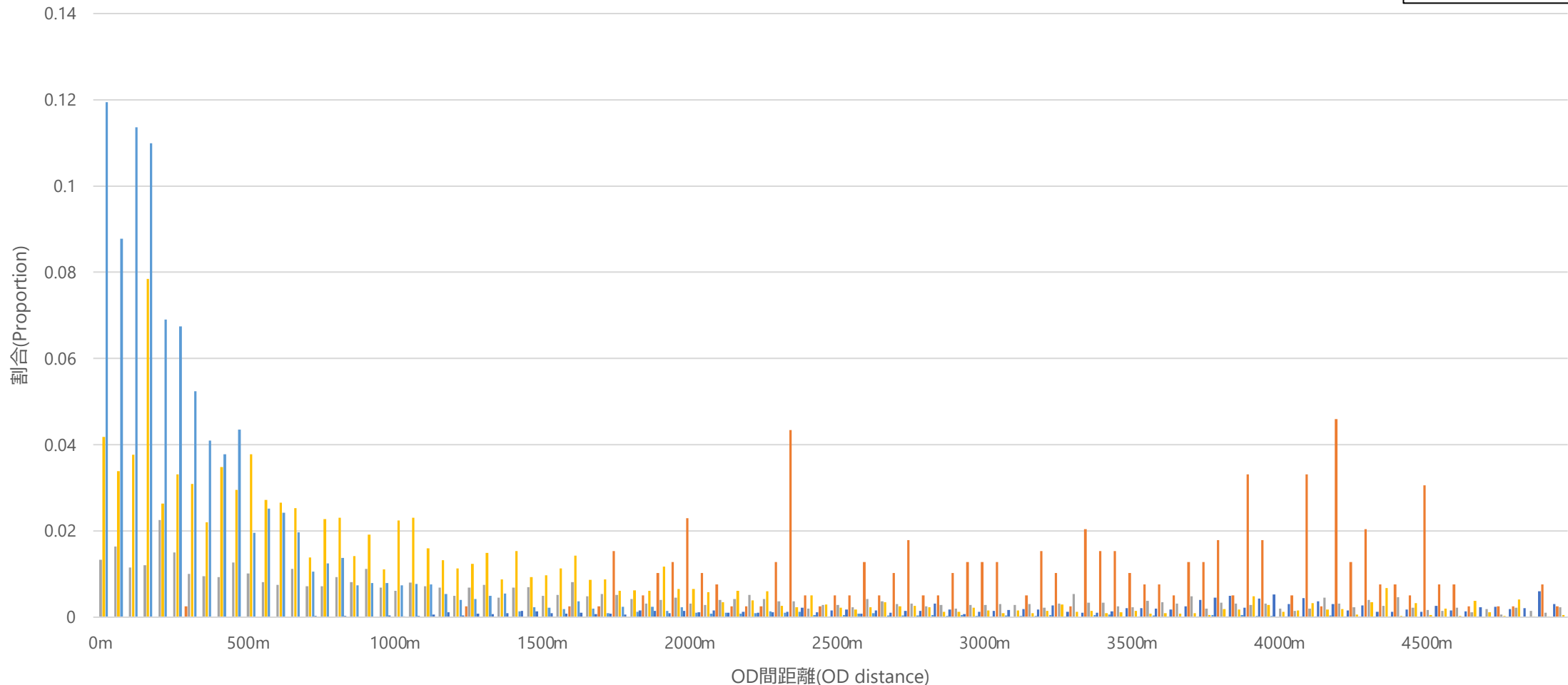


2.2 基礎分析 Basic Analysis

各交通手段のOD間直線距離の分布(5000m以下)

Distribution of OD distance for each mode of transportation (5000 m or less)

- 電車(Train)
- バス(Bus)
- 自動車(Car)
- 自転車(Bike)
- 徒歩(Walk)



仮説 Hypothesis

◆ パターン1 pattern1

鉄道利用者がピーク時間をさける傾向にあると考えた We thought train users tended to avoid peak hours.

所要時間とピーク時間のパラメータが負となり、所要時間よりもピーク時間のパラメータの方が絶対値が大きい
Peak time period and required time parameters are negative and have a larger absolute value than the required time parameter

◆ パターン2 pattern2

公共交通機関の方が私用交通機関よりも時間負荷が低いと考えた

Considered public transportation to have a lower time load than private transportation

公共交通とその他交通の時間パラメータが負となり、公共交通機関の時間パラメータの方がその他交通のパラメータよりも絶対値が大きい

The time parameters for public transportation and other transportation are negative, and the time parameter for public transportation is larger in absolute value than the parameter for other transportation

◆ パターン3 pattern3

すべての交通手段で時間負荷の関係を確認したかった

Wanted to see time-load relationship for all modes of transportation.

全ての交通手段で所要時間パラメータが負の値であり、自分で運転・移動する交通手段の方が所要時間パラメータの絶対値が大きい

All transportation modes have negative values for the time required parameter, and the absolute value of the time required parameter is larger for the transportation mode in which you drive and travel by yourself.

3.1 モデル推定 Model estimation

多項ロジットモデル

Multinomial Logit Model

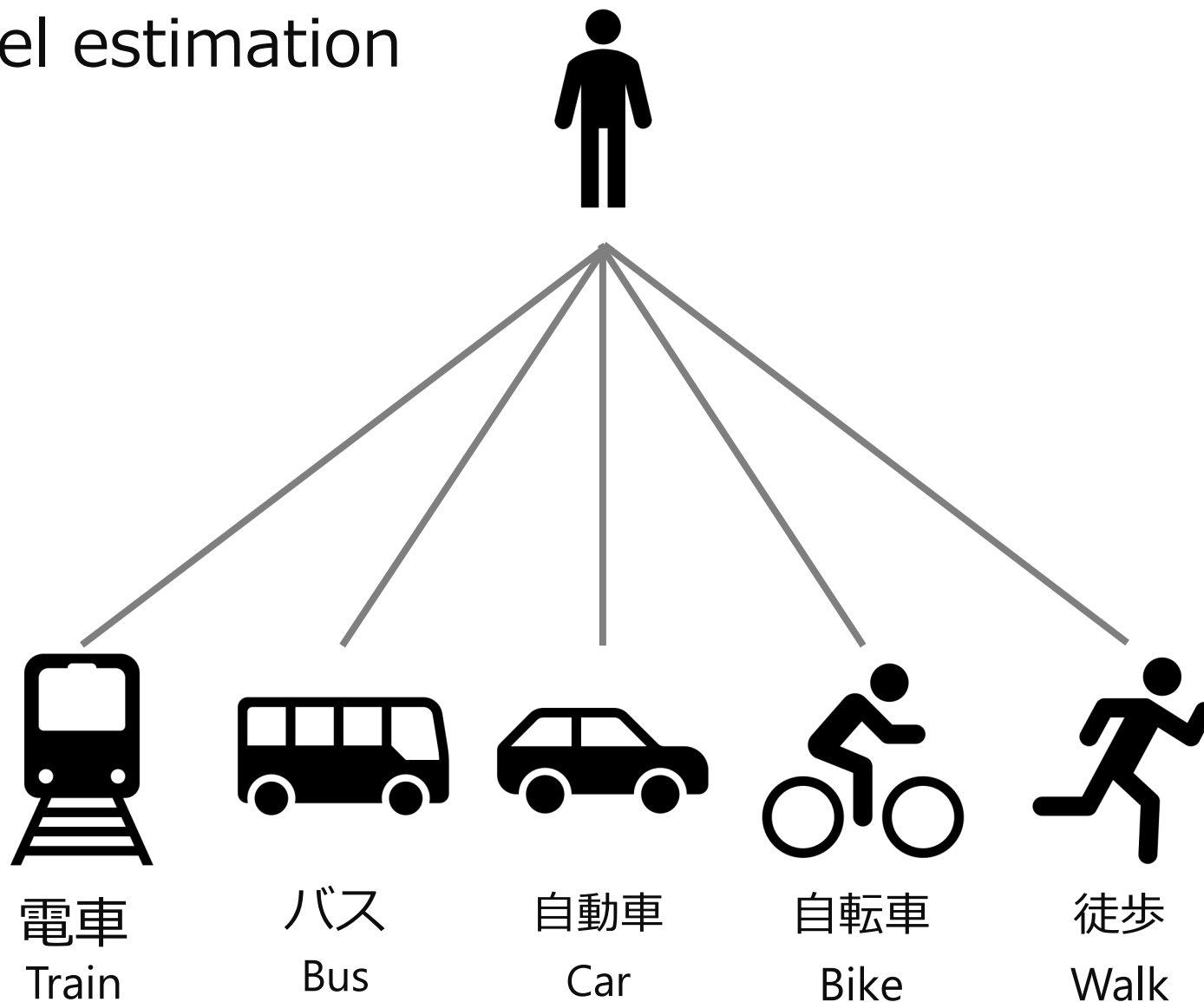
交通手段選択モデル

Mode choice model

$$P_n(i) = \frac{\delta_{ni} \exp(\mu V_{ni})}{\sum_{j=1}^5 \delta_{nj} \exp(\mu V_{nj})}$$

$$i \in j = \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

$\{\delta_j: \text{利用可能性} \mid 1, 0\}$
availability



3.2 モデル推定 Model estimation

多項ロジットモデル Multinomial Logit Model

◆ 効用関数 (パターン1) Utility function (Pattern 1)

$$\begin{aligned}U_{train} &= \beta_{time} \cdot x_{time} + \beta'_{time} \cdot x'_{time} + \beta_{demand} \cdot x_{demand} && + \varepsilon \\U_{bus} &= \beta_{time} \cdot x_{time} && + \varepsilon \\U_{car} &= \beta''_{time} \cdot x''_{time} + \beta_{income} \cdot x_{income} + \beta_{age} \cdot x_{age} && + \varepsilon \\U_{bike} &= \beta''_{time} \cdot x''_{time} && + \varepsilon \\U_{walk} &= \beta''_{time} \cdot x''_{time} && + \varepsilon\end{aligned}$$

説明変数 Explanatory variable

x_{time} : 所要時間 Traveling time

x_{cost} : 費用 Cost

x_{demand} : 派生需要ダミー Derived demand dummy (派生需要 : 1) 派生需要 : 帰社・帰校, 帰宅, 業務, 習い事, 送迎, 通勤通学, 通院

x_{age} : 年齢ダミー Age dummy (20歳以下 : 1)

x_{income} : 収入ダミー Income dummy (200万以下 : 1)

x_{time} : 公共交通所要時間

x'_{time} : 通勤通学ピーク時間帯の移動時間

x''_{time} : 私用交通所要時間

4. 推定結果 Estimation Results

| | |
|---|-----------|
| 最終尤度 final likelihood | -9668.257 |
| 修正済 ρ^2 値 adjusted ρ^2 -value | 0.41 |

パターン1 (Pattern 1)

| 説明変数 explanatory variable | パラメータ parameters | t値 t-value |
|---|------------------|------------|
| 公共交通所要時間 Traveling time of public transportation | -0.96*** | -11.19 |
| ピーク時移動時間 Traveling time during peak hour | -0.57*** | -5.30 |
| 私用交通所要時間 Traveling time of private transportation | -0.92*** | -22.05 |
| 派生需要ダミー Derived demand dummy | 0.04*** | 8.14 |
| 年齢ダミー Age dummy | -0.23*** | -8.43 |
| 収入ダミー Income dummy | -0.31*** | -3.96 |
| 定数項 (電車) Constant term (Train) | -1.27*** | 15.75 |
| 定数項 (バス) Constant term (Bus) | -0.62*** | -5.99 |
| 定数項 (自動車) Constant term (Car) | 0.91*** | 13.85 |
| 定数項 (自転車) Constant term (Bike) | 0.95*** | 15.85 |

* : 10%有意, ** : 5%有意, *** : 1%有意
 10% significant 5% significant 1% significant

3.2 モデル推定 Model estimation

多項ロジットモデル Multinomial Logit Model

◆ 効用関数 (パターン2) Utility function (Pattern 2)

$$\begin{aligned}U_{train} &= \beta_{time} \cdot x_{time} && + \beta_{demand} \cdot x_{demand} && + \varepsilon \\U_{bus} &= \beta_{time} \cdot x_{time} && && + \varepsilon \\U_{car} &= && + \beta'_{time} \cdot x'_{time} && + \beta_{house} \cdot x_{house} + \varepsilon \\U_{bike} &= && + \beta'_{time} \cdot x'_{time} && + \varepsilon \\U_{walk} &= && + \beta'_{time} \cdot x'_{time} && + \varepsilon\end{aligned}$$

説明変数 Explanatory variable

x_{time} : 所要時間 Traveling time

x_{demand} : 派生需要ダミー Derived demand dummy (派生需要 : 1) 派生需要 : 帰社・帰校, 帰宅, 業務, 習い事, 送迎, 通勤通学, 通院

x_{income} : 収入ダミー Income dummy (200万以下 : 1)

x_{house} : 自宅種別ダミー House type dummy

x_{time} : 公共交通所要時間

x'_{time} : その他交通所要時間

推定結果 Estimation Results

パターン2 (Pattern 2)

| | |
|---|----------|
| 最終尤度 final likelihood | -8791.32 |
| 修正済 ρ^2 値 adjusted ρ^2 -value | 0.46 |

| 説明変数 explanatory variable | パラメータ parameters | t値 t-value |
|---|------------------|------------|
| 公共交通所要時間 Traveling time of public transportation | -0.38*** | -38.50 |
| 私用交通所要時間 Traveling time of private transportation | -0.27*** | -38.35 |
| 派生需要ダミー Derived demand dummy | 0.56*** | 10.38 |
| 戸建てダミー Detached house dummy | 0.71*** | 12.55 |
| 定数項 (電車) Constant term (Train) | 0.56*** | 6.75 |
| 定数項 (バス) Constant term (Bus) | -0.73*** | -8.20 |
| 定数項 (自動車) Constant term (Car) | -1.05*** | -14.05 |
| 定数項 (自転車) Constant term (Bike) | 0.78*** | 13.87 |

* : 10%有意, ** : 5%有意, *** : 1%有意
10% significant 5% significant 1% significant

3.2 モデル推定 Model estimation

多項ロジットモデル Multinomial Logit Model

◆ 効用関数 (パターン3) Utility function (Pattern 3)

$$\begin{aligned}U_{train} &= \beta_{time} \cdot x_{time} + \beta_{demand} \cdot x_{demand} && +\varepsilon \\U_{bus} &= \beta'_{time} \cdot x'_{time} && +\varepsilon \\U_{car} &= \beta''_{time} \cdot x''_{time} + \beta_{gender} \cdot x_{gender} + \beta_{age} \cdot x_{age} + \beta_{house} \cdot x_{house} && +\varepsilon \\U_{bike} &= \beta'''_{time} \cdot x'''_{time} && +\varepsilon \\U_{walk} &= \beta''''_{time} \cdot x''''_{time} && +\varepsilon\end{aligned}$$

説明変数 Explanatory variable

x_{time} : 所要時間 Traveling time

x_{demand} : 派生需要ダミー Derived demand dummy (派生需要 : 1) 派生需要 : 帰社・帰校, 帰宅, 業務, 習い事, 送迎, 通勤通学, 通院

x_{gender} : 性別ダミー Gender dummy (男性 : 1)

x_{age} : 年齢ダミー Age dummy (20歳以下 : 1)

x_{house} : 自宅種別ダミー House type dummy (戸建て : 1)

x_{time} : 電車所要時間

x'_{time} : バス所要時間

x''_{time} : 自動車所要時間

x'''_{time} : 自転車所要時間

x''''_{time} : 徒歩所要時間

推定結果 Estimation Results

| | |
|---|----------|
| 最終尤度 final likelihood | -9201.21 |
| 修正済 ρ^2 値 adjusted ρ^2 -value | 0.43 |

パターン3 (Pattern 3)

| 説明変数 explanatory variable | パラメータ parameters | t値 t-value |
|---------------------------------|------------------|------------|
| 所要時間(電車) Traveling time (Train) | -1.32*** | -14.12 |
| 所要時間(バス) Traveling time (Bus) | -2.08*** | -11.22 |
| 所要時間(自動車) Traveling time (Car) | -1.01*** | -12.93 |
| 所要時間(自転車) Traveling time (Bike) | -1.85*** | -23.23 |
| 所要時間(徒歩) Traveling time (Walk) | -1.30*** | -24.15 |
| 派生需要ダミー Derived demand dummy | 5.42*** | 10.30 |
| 20代ダミー 20s dummy | -1.41*** | -7.02 |
| 男性ダミー Male dummy | -0.24*** | -4.29 |
| 自宅種別ダミー House type dummy | 1.65*** | 29.24 |
| 定数項 (電車) Constant term (Train) | 1.14*** | 17.77 |
| 定数項 (バス) Constant term (Bus) | -0.79*** | -5.18 |
| 定数項 (自転車) Constant term (Bike) | 1.44*** | 16.02 |

* : 10%有意, ** : 5%有意, *** : 1%有意
 10% significant 5% significant 1% significant

推定結果 Estimation Results

◆ パターン1 Pattern 1

- ピーク時間よりも通常時間をさけるという傾向がみられた。
- It tends to avoid normal hours rather than peak hours.
- 内生性により、ピーク時間の方が通常時よりも負の影響が大きくなったのではないか。
- Endogeneity may have caused the negative effect to be greater during peak hours than during normal hours.

◆ パターン2 Pattern 2

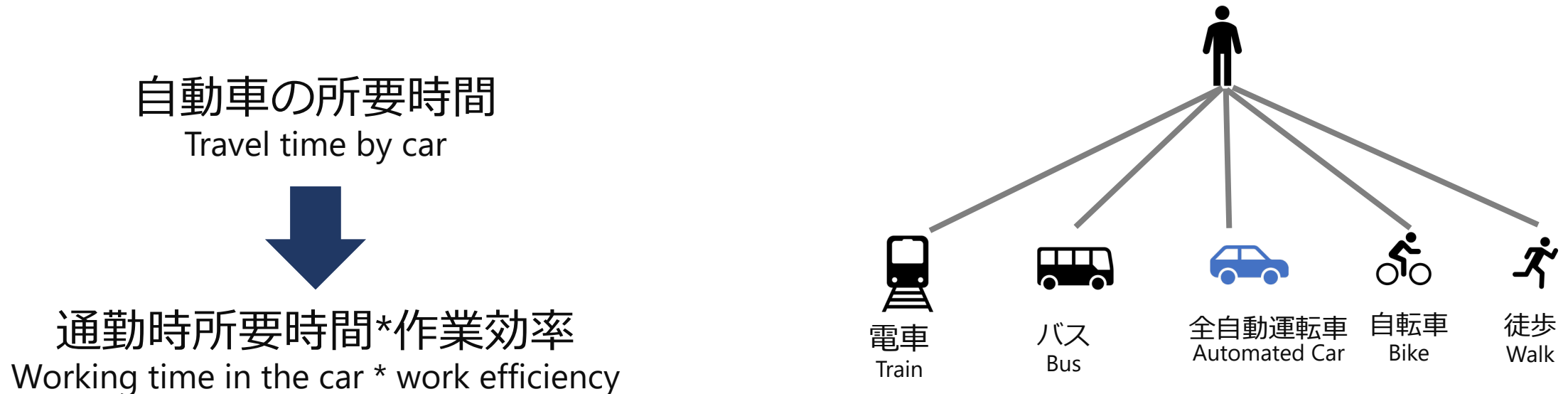
- 私用交通手段の時間負荷よりも、公共交通手段の時間負荷の方が大きくなった。
- The time load for public transportation was larger than the time load for private transportation.
- 説明変数の数が少ないため、時間負荷以外の要素が含まれてしまったのではないか。
- The small number of explanatory variables may have resulted in the inclusion of factors other than time load.

◆ パターン3 Pattern 3

- バス>自転車>電車>徒歩>自動車という順で時間負荷が大きくなった。
- The time burdens were larger in the following order: bus > bicycle > train > walking > car.
- 選択数の差などデータのばらつきの影響を強く受けてしまったのではないか。
- This may have been due to differences in the number of selections and other variations in the data.

5. 政策評価 policy evaluation

- 施策として、通勤時間を作業効率に見合った就業時間とすることが企業によって認められた場合を考える。
- As a measure, we consider the case where a company is allowed to make commuting time a working time commensurate with work efficiency.
- 移動目的が通勤・通学（2539人）に対して、作業を加味した自動車での所要時間を与えることで、交通手段選択がどう変化するか、どれくらい時間が生産されるか明らかにする。
- We clarify how transportation choice changes and how much time is produced by giving the time required by car, taking work into account, to those whose purpose is to commute to work or school (2,539 persons).



5. 政策評価 policy evaluation

シミュレーション内容 Simulation Contents

非自動運転車内での作業効率を0%として作業効率0%~100%下での通勤・通学者の自動車選択率と生産時間をそれぞれ算出した。

The car choice rate and production time of commuters under 0%-100% work efficiency with 0% work efficiency in a non-automated car, respectively.

作業効率0% : 車内で全く作業できない状態

Work efficiency 0%: No work at all can be done in the car

作業効率50% : 車内で運転等に注意しつつ作業する状態

Work efficiency 50%: Working in a car while paying attention to driving, etc.

作業効率100% : 車内でオフィスや学校と同様に作業する状態

100% work efficiency: state of working in the car as if in an office or school.

政策評価 policy evaluation

鉄道のピーク時間帯(7:30~9:00, 18:00~19:00)を考慮したモデル

The model considering peak hours of railway (7:30~9:00, 18:00~19:00)

| 作業効率 work efficiency | 自動車選択確率 Car selection probability | 自動車での通勤・通学者の1人当たり生産時間 Production hours per capita of those who commute to work or school by car |
|-----------------------------------|--------------------------------------|--|
| 0% (非自動運転) (non-automated car) | 21.4% | 0分 |
| 20% | 21.6% | 9.7分 |
| 40% | 22.0% | 20.0分 |
| 60% | 22.4% | 31.8分 |
| 80% | 22.7% | 43.2分 |
| 100% | 23.0% | 54.8分 |

政策評価 policy evaluation

公共交通機関とその他の交通機関で所要時間を分けて考えたモデル

The model considering traveling time separately for public transportation and other types of transportation

| 作業効率 work efficiency | 自動車選択確率 Car selection probability | 自動車での通勤・通学者の1人当たり生産時間 Production hours per capita of those who commute to work or school by car |
|-----------------------------------|--------------------------------------|--|
| 0% (非自動運転) (non-automated car) | 23.9% | 0分 |
| 20% | 25.4% | 9.8分 |
| 40% | 27.4% | 21.4分 |
| 60% | 29.1% | 33.6分 |
| 80% | 30.1% | 45.6分 |
| 100% | 32.5% | 56.7分 |

政策評価 policy evaluation

すべての交通手段で所要時間を分けて考えたモデル

The model considering traveling time separately for all types of transportation

| 作業効率 work efficiency | 自動車選択確率 Car selection probability | 自動車での通勤・通学者の1人当たり生産時間 Production hours per capita of those who commute to work or school by car |
|-----------------------------------|--------------------------------------|--|
| 0% (非自動運転) (non-automated car) | 24.4% | 0分 |
| 20% | 25.0% | 10.0分 |
| 40% | 25.7% | 20.6分 |
| 60% | 26.4% | 32.3分 |
| 80% | 27.0% | 44.2分 |
| 100% | 27.7% | 56.5分 |

6. 結論 Conclusion

3つのパターンのシミュレーションの全てでほぼ同様の結果を得た

Simulations were performed for three patterns, with nearly similar results for all patterns

結論

自動車内での作業効率を60%とすると、通勤通学者が自動運転車で通勤することによって

Assuming a work efficiency in a car of 60%, by commuting in an automated car,

1人あたり34分の生産時間を確保できる

a commuter can get 34 minutes of production time per person.