

2024年9月13日
September 13, 2024

気候変動に伴う都市部における 行動変容の分析

早稲田Bチーム Waseda Team B

黒田 昇吾 Kuroda Shogo, 渋田 夢香 Shibuta Yumeka,

河津 杏珠 Kawazu Anju, 安松 慶 Yasumatsu Kei,

石田 有人 Ishida Aruto, 山下 孝太郎 Yamashita Kotaro,

1. 背景と目的 Background & Purpose

■ 背景 Background

近年、気候変動により、記録的猛暑や台風の激甚化などが増加している。

In recent years, record-breaking heat waves and severe typhoons have been increasing due to climate change.

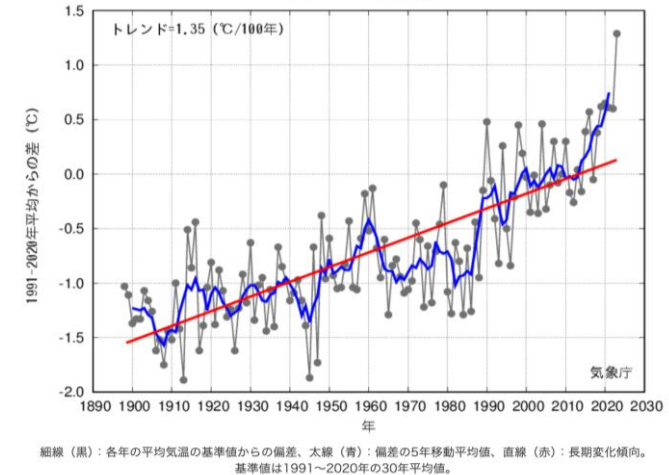


図1 日本の年平均気温偏差

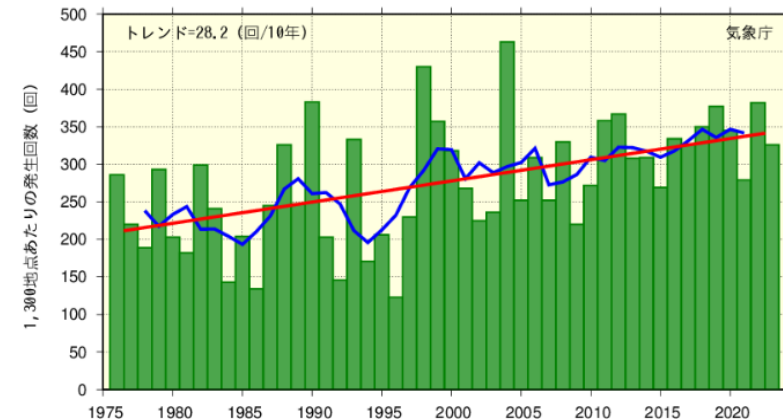


図2 全国の1時間降水量50mm以上の年間発生回数

1. 背景と目的 Background & Purpose

■目的 Purpose

気温が高くなれば人々の移動交通手段は変化するのではないか、またどのように変化をしたのかを明らかにする。

To identify whether and how people's transportation modes might change as temperatures increase.



2. 対象地と使用データ Location and Data Used

■ 対象地 Location

豊洲 Toyosu

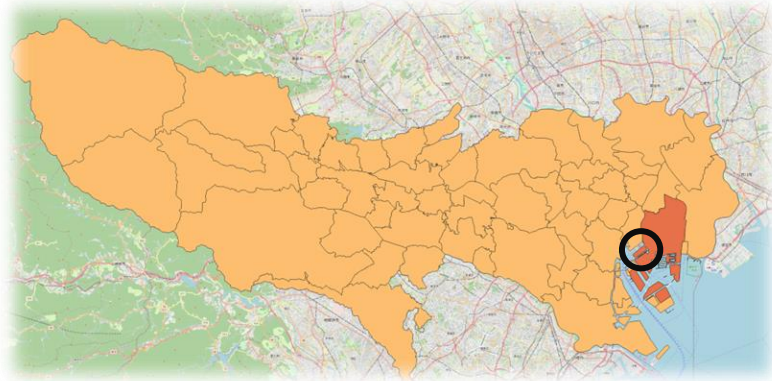


図3 豊洲の位置

■ 使用データ Data Used

- ・ 国土交通省気象庁 気温・湿度データ

Temperature and humidity data, Japan Meteorological Agency, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

- ・ 豊洲PP調査(コロナの影響を受けない2019年7月-10月, 日中出発8時~到着18時のデータを使用)

Toyosu PP data (Using data from July to October 2019, daytime departure 8am to arrival 6pm, which is unaffected by COVID19.)

3. 基礎分析 Basic analysis

■ 気温と交通手段選択の関係 Relationship between temperature and transportation choice

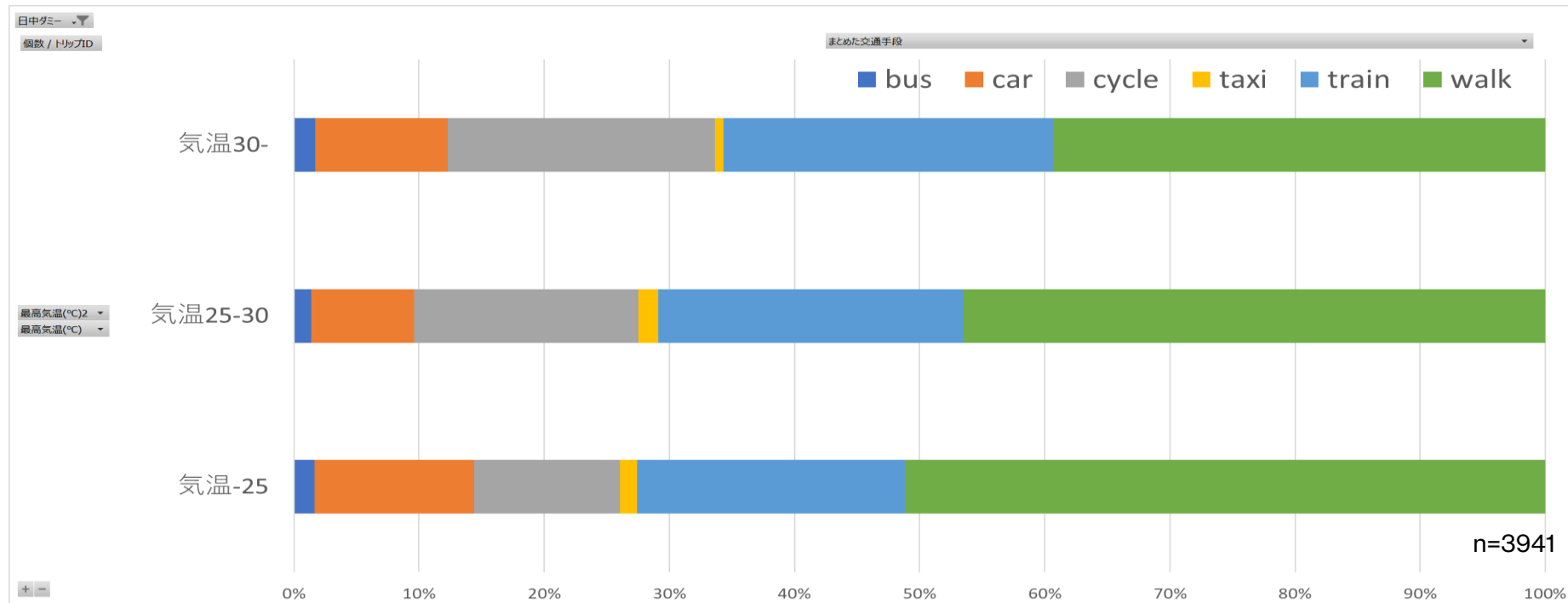


図4 気温と交通手段選択の関係

- 気温が上がるほど歩行の割合が減っている
- The percentage of walking decreases as temperature increases.

3. 基礎分析 Basic analysis

■ 気温と歩行時間の関係 Relationship between temperature and walking time

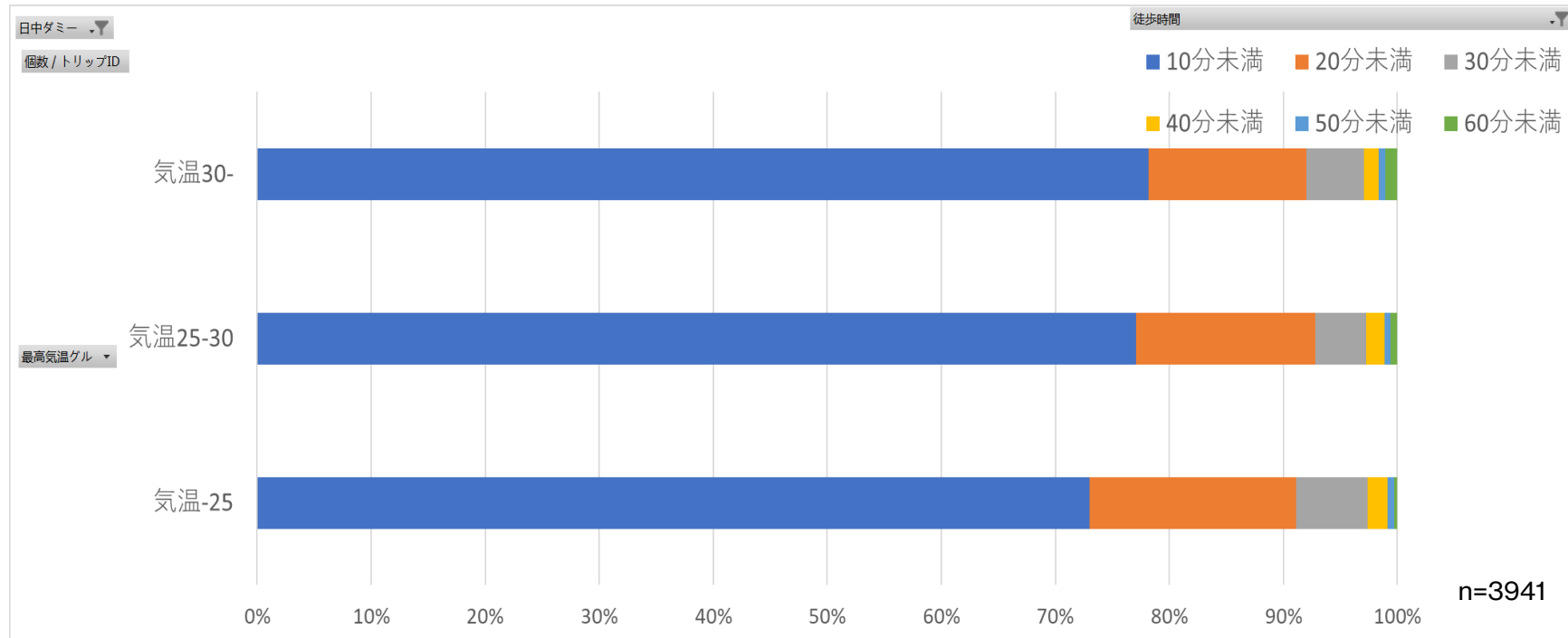


図5 気温と歩行時間の関係

- 気温が上がるほど歩行時間が短くなっている
- The higher the temperature, the shorter the walking time.

3. 基礎分析 Basic analysis

前日は7月-10月における4日間,
当日は同期間における3日間のデータを使用
The previous day uses 4 days of data from July-October.
Appointed day uses data from 3 days during the same period.

■ 台風と移動目的の関係

Relationship between typhoon and purpose of travel

前日 previous day

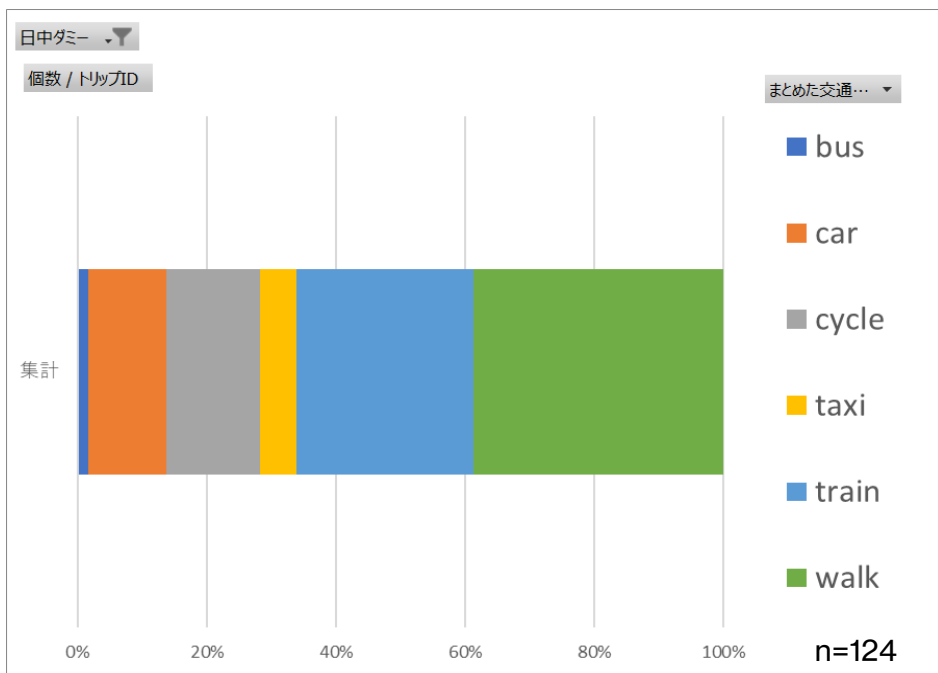


図6 台風前日における移動目的

当日 appointed day

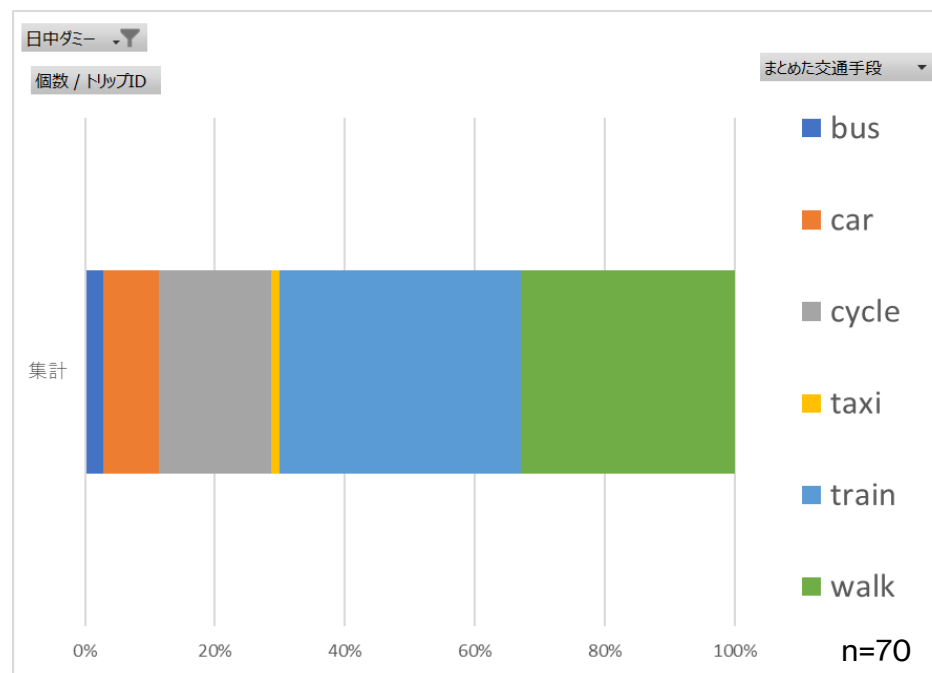


図7 台風当日における移動目的

- 台風当日は前日と比較して歩行が減少，電車は増加
- Walking decreased on the day of the typhoon compared to the day before, while trains increased

3. 基礎分析 Basic analysis

■ 気温と徒歩における目的地の関係

・ 25°C未満や30°C未満の時の江東区内の目的地に着目すると、サンプル数が30°C以上よりも少ないにもかかわらず目的地のトリップ数が多い。

Focusing on destinations in Koto-ku when the temperature was below 25°C or 30°C, the number of destination trips was higher even though the sample size was smaller than that for temperatures above 30°C.

・ 黒丸で示した範囲では30°C未満の人が多く、豊洲からの電車の便が悪く、乗換に徒歩が必要なエリアもあるため気温が高い日に行く人が少ないのではないかと。

In the area indicated by the black circle, there are many people with temperatures below 30°C. The train service from Toyosu is not convenient, and some areas require walking to change trains, which may explain why few people go there on days when the temperature is high.

サンプル数 Number of samples
25°C未満 : 488 30°C未満 : 566 30°C以上 : 687

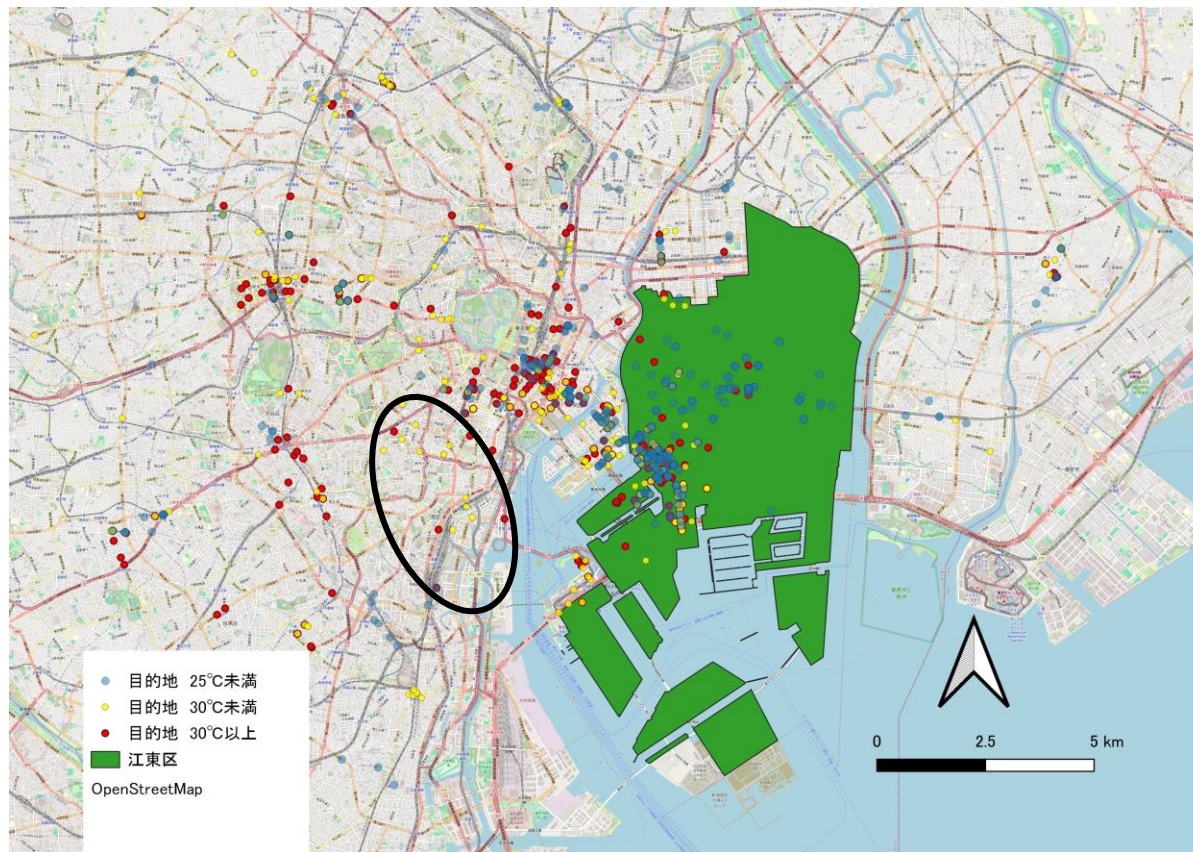


図8 気温と目的地の関係（徒歩）

4. 仮説 Hypothesis

気候変動の拡大によって、人間の交通手段選択は大きく変動するのではないか
The increase in climate change may cause a significant change in human transportation choices



More Specific...

「高温・多湿環境下、降水量、屋根の割合、
それぞれの状況で交通手段選択率が変化するのではないか」

“Transportation choice rates may change under high temperatures, precipitation,
and percentage of roof”

5. 政策分析までの流れ Process towards policy making

天候に関する変数
Variables relating to weather

モデル推定 Model estimation

外出前、確認する気象情報の中で、暑い日に確認する項目

- モデル1
- 最高気温 [°C]
Maximum temperature
 - 合計の降水量 [mm]
Total precipitation
 - 屋根の割合
Ratio of roof

不快指数 (温度 T と湿度 H を両方考慮)
 $0.81T + 0.01H \times (0.99T - 14.3) + 46.3$

- モデル2
- 不快指数
Temperature humidity index
 - 合計の降水量 [mm]
Total precipitation
 - 屋根の割合
Ratio of roof

気候変動シミュレーション Simulation of climate change

- 気温の上昇 [°C]
Increase in temperature
- 降水量の上昇 [mm]
Increase in precipitation

- 不快指数の上昇
Increase in temperature humidity index

政策分析 Evaluation of policy making

- 現状の気温で屋根割合を増やす施策
Gradually increase the ratio of roof while maintaining the current temperature
- 歩行量が多い場所のみ屋根を整備
Introduce the roof only to the sidewalk where pedestrian traffic volume is high
- 最高気温30°C以上 (真夏日) における公共交通料金割引
Discount of public transport fees when the maximum temperature is over 30°C
- 降水量が増えた状況下で、屋根割合を増やす施策
Increase the ratio of roof under condition of precipitation increase

5. 補 屋根割合とは？ What is the roof ratio?

歩行者の経路データ・ネットワークデータを用い、歩道構造が

駅構内, 地下歩道, 遊歩道・公園内, 公共空地（ビルによる日陰）

である場合において、各リンク長を抽出

このように、構造物によって直射日光が遮られている歩道延長を「屋根延長」とした

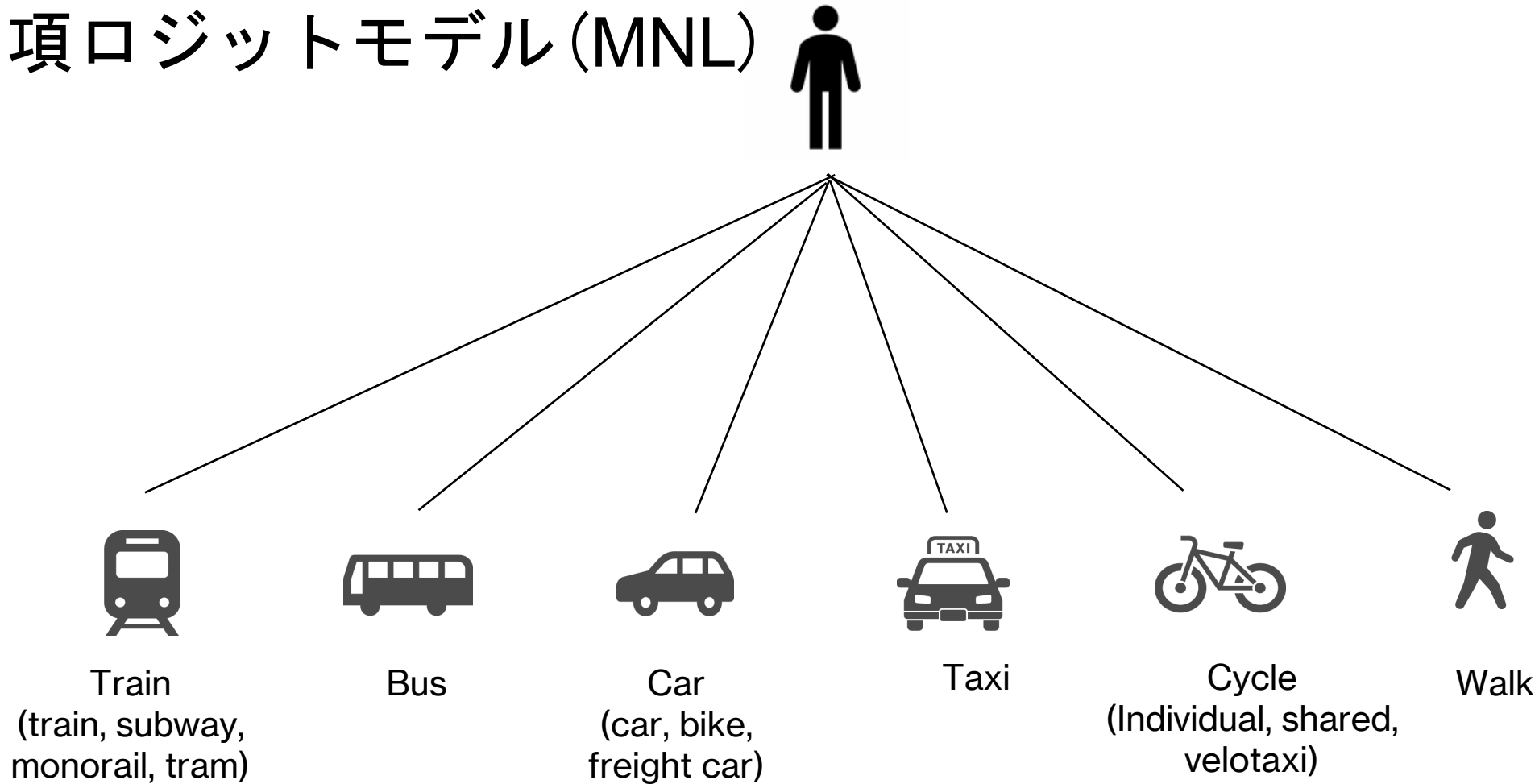
※ 「日陰延長」では、樹木による日陰を含んでしまうため、今回は構造物の代表として「屋根」を用いた

屋根割合の計算：

$$\text{屋根割合} = \frac{\text{屋根延長}}{\text{歩行者全リンク長}}$$

6. モデル推定 Model estimation

■ 多項ロジットモデル (MNL)

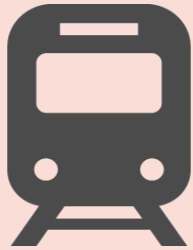


6. モデル推定 Model estimation

■ 被説明変数

気温上昇によって利用率が**促進**されると
仮定される

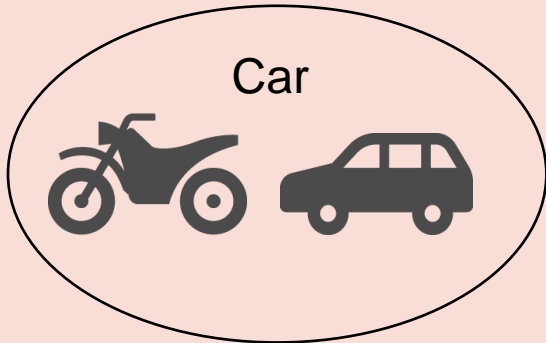
Assumed that rising temperatures will **promote** utilization



Train



Bus



Car



Taxi

気温上昇によって利用率が**抑制**されると
仮定される

Assumed that rising temperatures will **be suppressed** utilization



Cycle



Walk

6. モデル推定 Model estimation

■ 効用関数 (Utility function)

モデル1 Model 1

$$\begin{aligned}
 U_{train} &= \alpha_1 time + \alpha_2 cost + \alpha_4 U20age + \alpha_5 O60age + \alpha_7 commute + b_1 \\
 U_{bus} &= \alpha_1 time + \alpha_2 cost + \alpha_5 O60age + \alpha_7 commute + b_2 \\
 U_{car} &= \alpha_1 time + b_3 \\
 U_{cycle} &= \alpha_1 time + \alpha_3 woman + \alpha_6 lowIncome + \alpha_{11} rain + b_4 \\
 U_{taxi} &= \alpha_1 time + \alpha_2 cost + \alpha_8 work + b_5 \\
 U_{walk} &= \alpha_1 time + \alpha_3 woman + \alpha_7 commute + \alpha_9 meal + \alpha_{10} Temp. + \alpha_{11} rain + \alpha_{12} roof
 \end{aligned}$$

モデル2 : 最高気温の代わりに、不快指数を用いた
 Model 2: Temperature humidity index was used instead of maximum temperature

b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 は定数項

6. モデル推定 Model estimation

■ 効用関数 (Utility function)

- *time*=Total travel time (目的地までの総所要時間)
- *cost*=Cost of destination (目的地までの費用)
- *woman*=Woman dummy (女性ダミー)
- *U20age*=Under 20 age dummy (20代未満ダミー)
- *O60age*=Over 60 age dummy (60歳以上ダミー)
- *lowIncome*=Low Income(Under 2 million yen) dummy (低収入ダミー(年収200万未満))
- *commute*=Commute or school dummy (通勤通学ダミー)
- *work*=Work dummy (業務ダミー)
- *meal*=Meal dummy (食事ダミー)
- *Temp.*=Temperature humidity (不快指数)
- *rain*=Rainfall (降水量)
- *roof*=Roof (屋根)

6.1 最高気温を用いたモデル推定結果

Result of model estimation using the maximum temperature

	t値 (t value)	推定係数 (estimated coefficient)
定数項 (train)	** -6.02	-1.90
定数項 (bus)	+* -9.33	-3.16
定数項 (car)	** -11.38	-3.56
定数項 (cycle)	** -9.09	-2.75
定数項 (taxi)	** -14.86	-5.86
目的地までの所要時間 (time to destination)	** -23.12	-5.16
目的地までの費用 (fee to destination)	** -2.81	-0.03
女性ダミー (woman dummy)	** 6.81	0.76
20代未満ダミー (under age 20 dummy)	** 5.84	2.70
60代以上ダミー (over age 60 dummy)	** 4.64	0.91
低収入ダミー (low-income dummy)	** 5.96	2.28
通勤通学ダミー (work and school dummy)	** 5.02	0.59
業務ダミー (business dummy)	** 6.14	1.89
食事ダミー (meal dummy)	** 4.96	0.90
最高気温 (maximum temperature)	** -5.31	-5.54
合計の降水量 (total precipitation)	** -2.44	-0.66
屋根割合 (roof ratio)	** 7.51	6.32
	サンプル数	3940.00
	初期尤度	-5927.91
	最終尤度	-3141.31
	決定係数	0.47
	修正済み決定係数	0.47

**=1%有意(p<0.01)

6.2 不快指数を用いたモデル推定結果

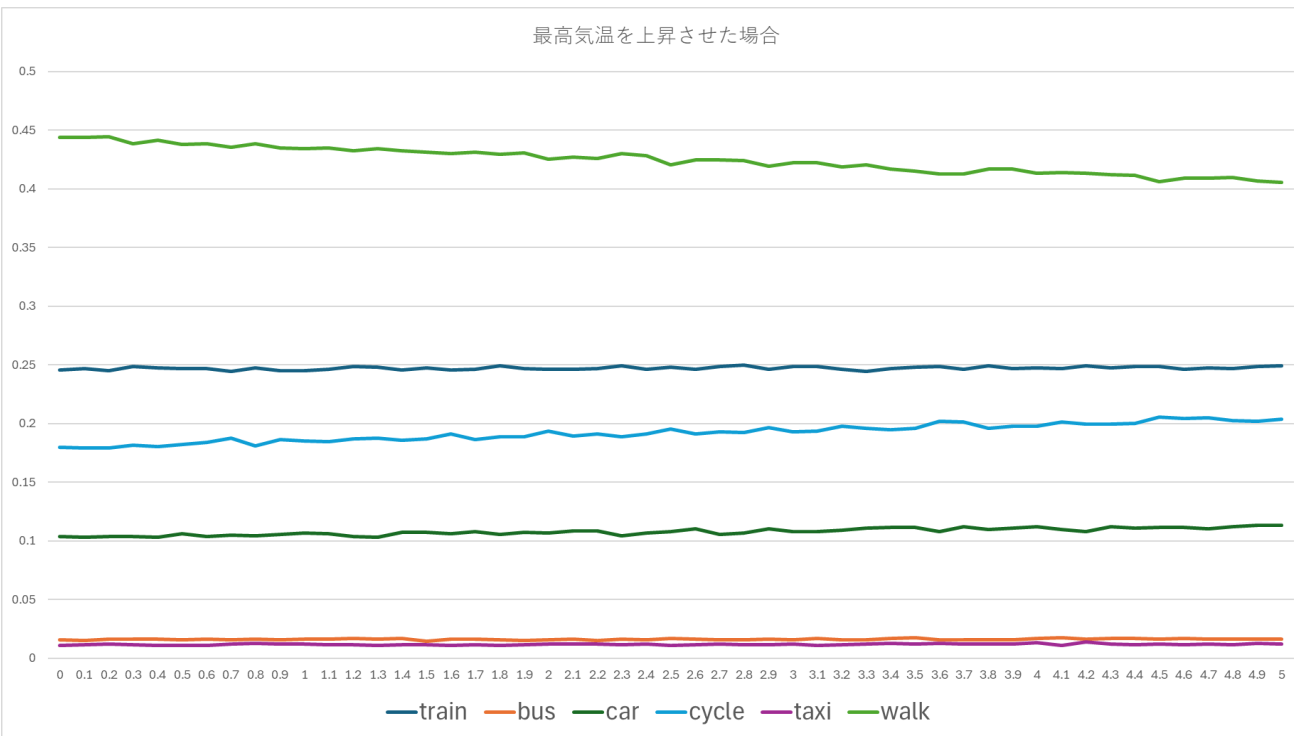
Result of model estimation using the temperature humidity index

	t値 (t value)	推定係数 (estimated coefficient)
定数項 (train)	** -5.51	-2.96
定数項 (bus)	** -7.64	-4.21
定数項 (car)	** -8.61	-4.61
定数項 (cycle)	** -7.17	-3.80
定数項 (taxi)	** -11.77	-6.92
目的地までの所要時間 (time to destination)	** -23.12	-5.15
目的地までの費用 (fee to destination)	** -2.81	-0.03
女性ダミー (woman dummy)	** 6.79	0.76
20代未満ダミー (under age 20 dummy)	** 5.86	2.70
60代以上ダミー (over age 60 dummy)	** 4.64	0.91
低収入ダミー (low-income dummy)	** 5.95	2.28
通勤通学ダミー (work and school dummy)	** 5.05	0.60
業務ダミー (business dummy)	** 6.13	1.89
食事ダミー (meal dummy)	** 4.94	0.89
不快指数 (temperature humidity index)	** -5.00	-3.26
合計の降水量 (total precipitation)	** -2.37	-0.65
屋根割合 (roof ratio)	** 7.49	6.31
	サンプル数	3940.00
	初期尤度	-5927.91
	最終尤度	-3142.97
	決定係数	0.47
	修正済み決定係数	0.47

**=1%有意(p<0.01)

7.1 気温上昇シミュレーション Simulation of increase in temperature

最高気温を上昇させた場合



目的： 今後も気候変動で気温が上昇することが考えられる。そのため、**気温が上昇すると、交通手段選択にどのような影響があるのか確認する。**

Purpose: Due to the climate change, the temperature will likely to continue to increase. Therefore, it is necessary to check the impact of temperature increase on transportation mode choice.

手法： 最高気温を0.1°Cずつ上昇させる

Method: Increase the maximum temperature by 0.1°C

結果：

- **徒歩**が顕著に**減少**
- **自転車・自動車**が**増加**

Result:

- Walk largely decreased
- Cycle and Car increased

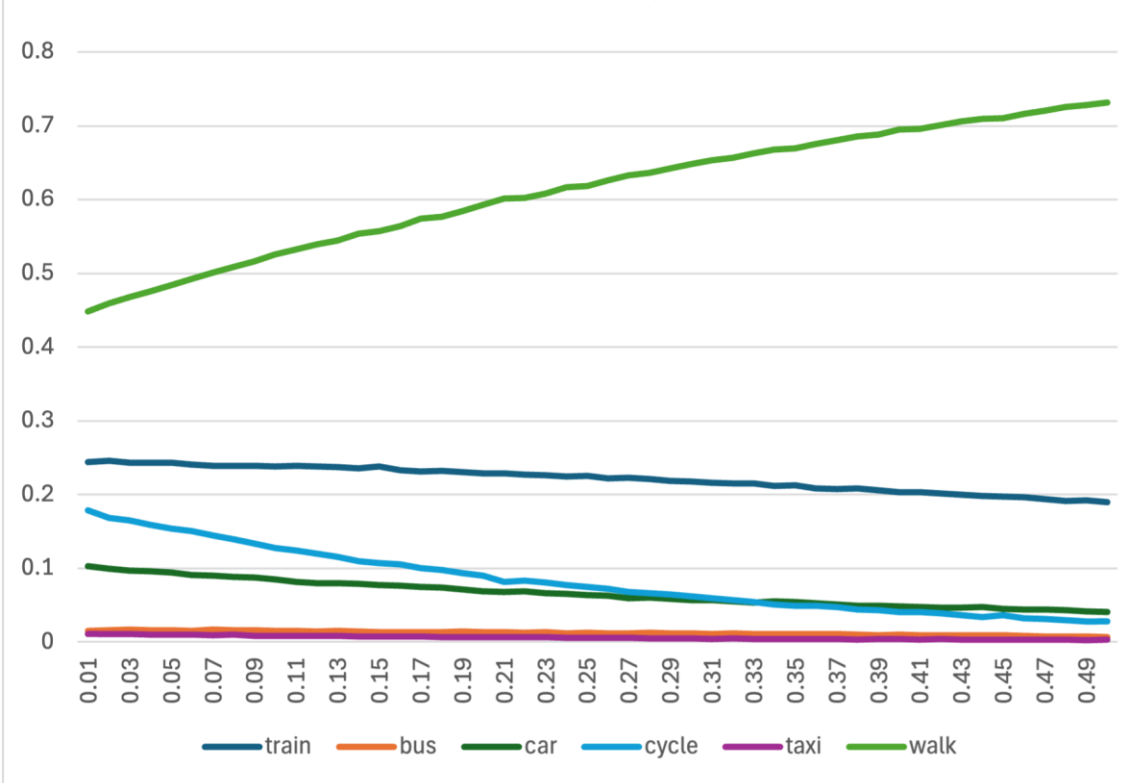
自然環境配慮の視点からの懸念点として、自動車の選択率が増加するのは避けたい
▶ 徒歩を増やし、公共交通へシフトする施策

Considering the impact on natural environment, it is necessary to avoid choosing cars
▶ increase walking and shift to using more public transportation

7.2 現状の気温環境下における屋根割合増加の政策分析

Policy making of increasing the roof ratio under current temperature

現状の気温環境下における屋根割合が増加した際の
交通手段選択率の推移



目的：屋根の設置により、交通手段選択がどのように変化するか確認

Purpose: To analyze the impact on transportation mode choice by introducing roof to sidewalks

手法：気温は現状のまま、屋根割合を0.01ずつ増加させる

Method: Increase the roof ratio by 0.01 while maintaining the current temperature

結果：

- 徒歩が顕著に増加
- 自転車, 自動車, 電車が減少

Result:

- Walk largely increased as the roof ratio increased
- Cycle, car, train decreased

考察：本来は自動車の減少幅が最も大きくなる。本政策分析では自転車の減少幅が最も大きい（選択確率を徒歩と自転車で取り合う）。要因として

- 歩行データがあるルートのみを「屋根」の対象とした
→ 全交通手段の経路データから各屋根割合を算出し、異なる係数を用いてモデルに組み込む
- 自動車の説明変数が少ない

Evaluation: The decrease in car use should be the largest, but in the policy analysis, cycle was the largest. (walking and cycle compete for the probability of choosing one) The possible reason is that only routes with walking data were considered as "roof" in this model.

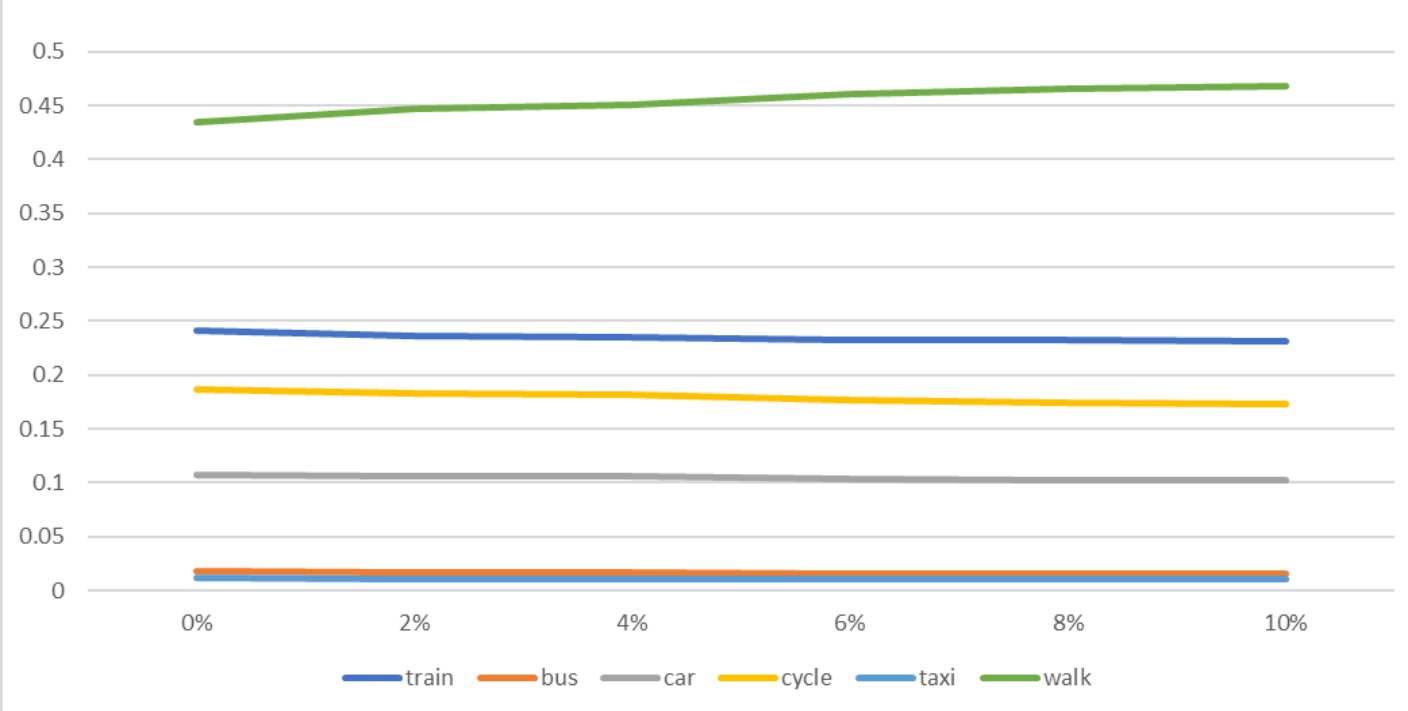
For the future analysis, the proportion of roofs for each transportation mode should be calculated and incorporate into the model using different coefficients.

In addition, there are few explanatory variables for car and should apply more in the future.

7.3 歩行量の多い場所のみ屋根設置の政策分析

Policy analysis of introducing roof to the high pedestrian traffic sidewalk

屋根割合を増やした場合の分担率の変化



目的：全歩道一律で屋根を設置するのは非現実的
 → 歩行量の多い場所のみに設置した場合を分析
手法：歩道リンクを通行量の多い順に並べ替え、その上位から順に屋根もしくは地下道などを設置するリンクを選定した。
 整備する距離が全体の2%、4%、6%、8%、10%となる場合それぞれを分析した。

結果：

- 歩行者が徐々に上昇
- 自転車が減少・その他も微減

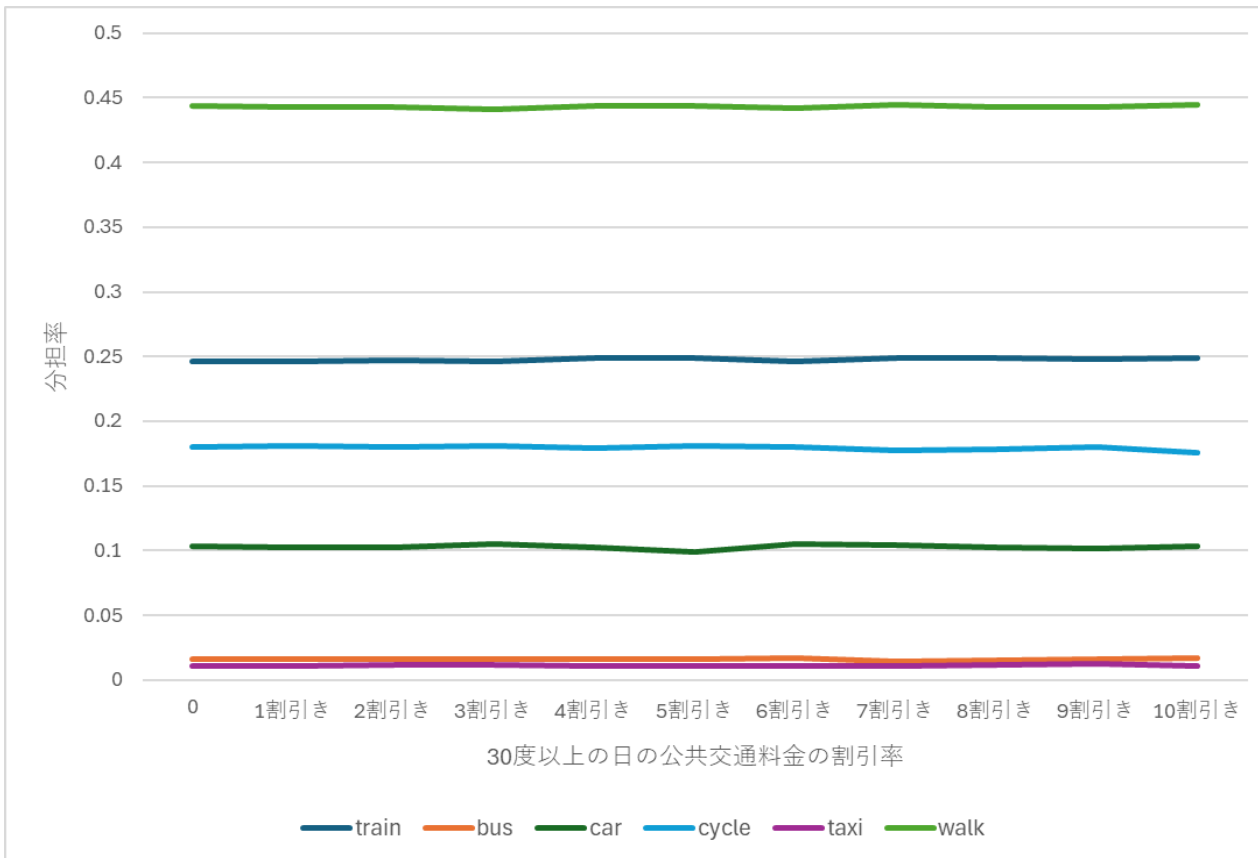
Purpose: It is not realistic to introduce roof to every sidewalk at the same rate, so analyze the situation only introducing roof to the high pedestrian traffic sidewalk
Method: The sidewalk links were sorted in order of traffic volume, and links with roofs or underpasses, etc., were selected from the top to the bottom. The analysis was performed for each case where the distance to be improved was 2%, 4%, 6%, 8%, and 10% of the total distance.

Result:

- Pedestrians gradually rise
- Decrease in bicycles and slight decrease in others

7.4 最高気温30°C以上（真夏日）における公共交通料金割引施策

Policy analysis of discount of public transport fees when the maximum temperature is over 30°C



目的：最高気温30度以上の日に、鉄道とバスの料金を割引くことで分担率が変化するかを分析

結果：割引によって分担率は変化しなかった

考察：費用の推定係数が他の説明変数に比べて小さく、交通手段選択に与える影響が小さい。

Objective: Analyze whether discounting rail and bus fares on days with maximum temperatures above 30 degrees Celsius would change the sharing ratio.

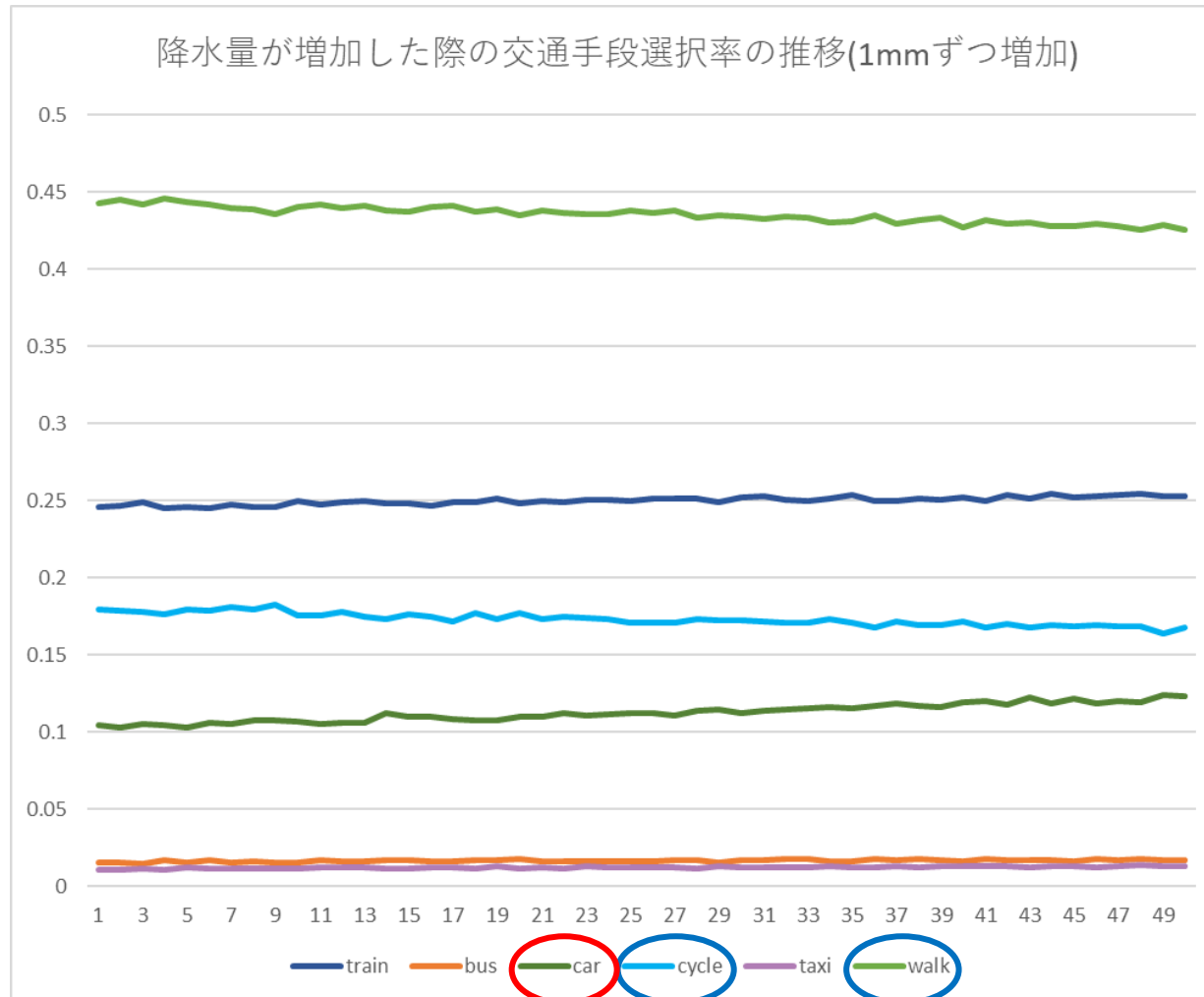
Result: Discounting did not change the sharing ratio.

Discussion.: The estimated coefficient of cost is smaller than the other explanatory variables and has less impact on transportation mode choice.

気温上昇による徒歩の減少・自動車の増加に対して、公共交通費用割引の効果はほとんどないと考えられる。

The effect of public transportation cost discounts on the decrease in walking and increase in car use due to rising temperatures seems to be negligible.

8.1 降水量上昇シミュレーション Simulation of increase in precipitation



目的： 今後気候変動で降水量が増加することが考えられる。そのため、**降水量が増加すると、交通手段選択にどのような影響があるのか確認**する。

Purpose: It is likely that precipitation will increase in the future due to climate change. Therefore, to ascertain how an increase in precipitation will affect transportation choices.

手法： 降水量を0mmから1mmずつ増加させる

Method: Increase the precipitation by 1mm from 0mm

結果：

降水量が増加するほど、

歩行や自転車の選択率の**減少**、

さらに**車**の選択率の**増加**が確認できた

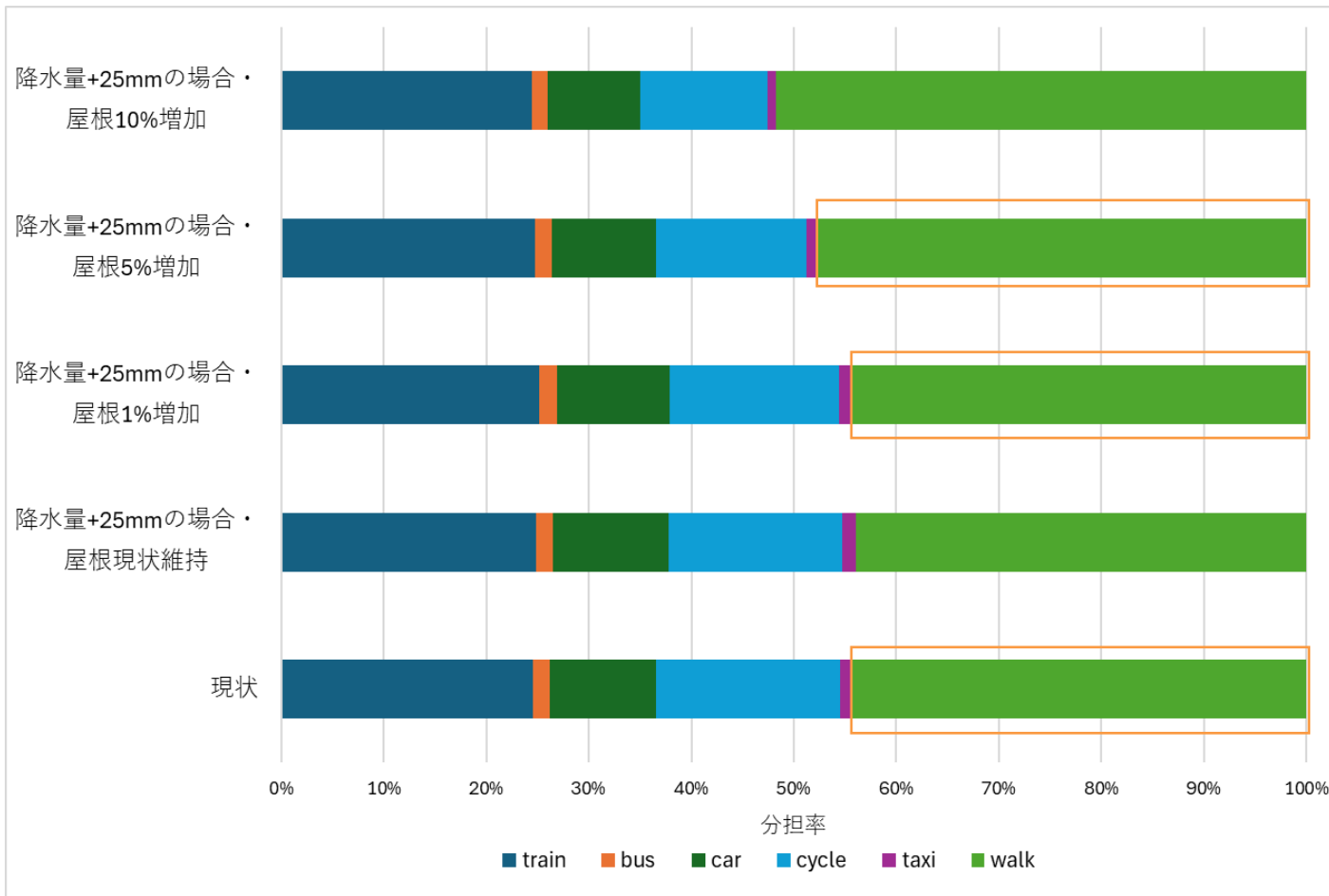
Result: As precipitation increased,

the selection rates of walking and bicycling **decreased**, and

the selection rates of trains and cars **increased**

8.2 雨に対する屋根整備の政策分析

Policy analysis against precipitation by introducing roof



目的：気候変動により降水量が増加した条件下で快適な歩行環境として屋根を整備すると、交通手段選択に影響するのか分析する。

Purpose: Due to the climate change, the temperature will likely to continue to increase. Therefore, it is necessary to check the impact of temperature increase on transportation mode choice.

手法：屋根割合を変化させ、現状と、降水量が25mm増加した場合とを比較する

Method: Varying roof proportions and comparing the current situation with an increase in precipitation of 25 mm.

結果：屋根増加の割合が+1%~5%になると、降水量が増加した環境下でも、現状と同程度の徒歩の分担率を保つことができる。

Result: 1%~5% roof increase would maintain the same level of walking share as the current situation, even in an environment with increased precipitation.

9. 結論 Conclusion

	train	bus	car	cycle	taxi	walk
気温上昇 Temperature Increase	→	→	↑	↑	→	↓
降水量増加 Precipitation Increase	→	→	↑	↓	→	↓
屋根割合増加 Roof percentage increase	→	→	→	↓	→	↑

- ・ 気温上昇や降水量増加といった気候変動によって、徒歩が減少し、自動車が増加することが示された。
Climate change, such as rising temperatures and increased precipitation, was shown to decrease walking and increase the number of automobiles.
- ・ 政策として「屋根割合の増加による歩行環境改善」と、「気温による公共交通費用割引」を検討した。
 - ・ 屋根割合の増加：徒歩が増加し、自転車が増加する結果となり、気候変動に対して屋根整備は歩行者を増加させる効果があるとわかった。一方で、全体の屋根データを用いることや、説明変数として徒歩以外の交通手段にも含めるといった改善が必要と考察した。
 - ・ 公共交通割引：真夏日の割引率を高めても手段選択に影響はみられず、本モデルでの費用の影響が小さいことが要因と考察した。

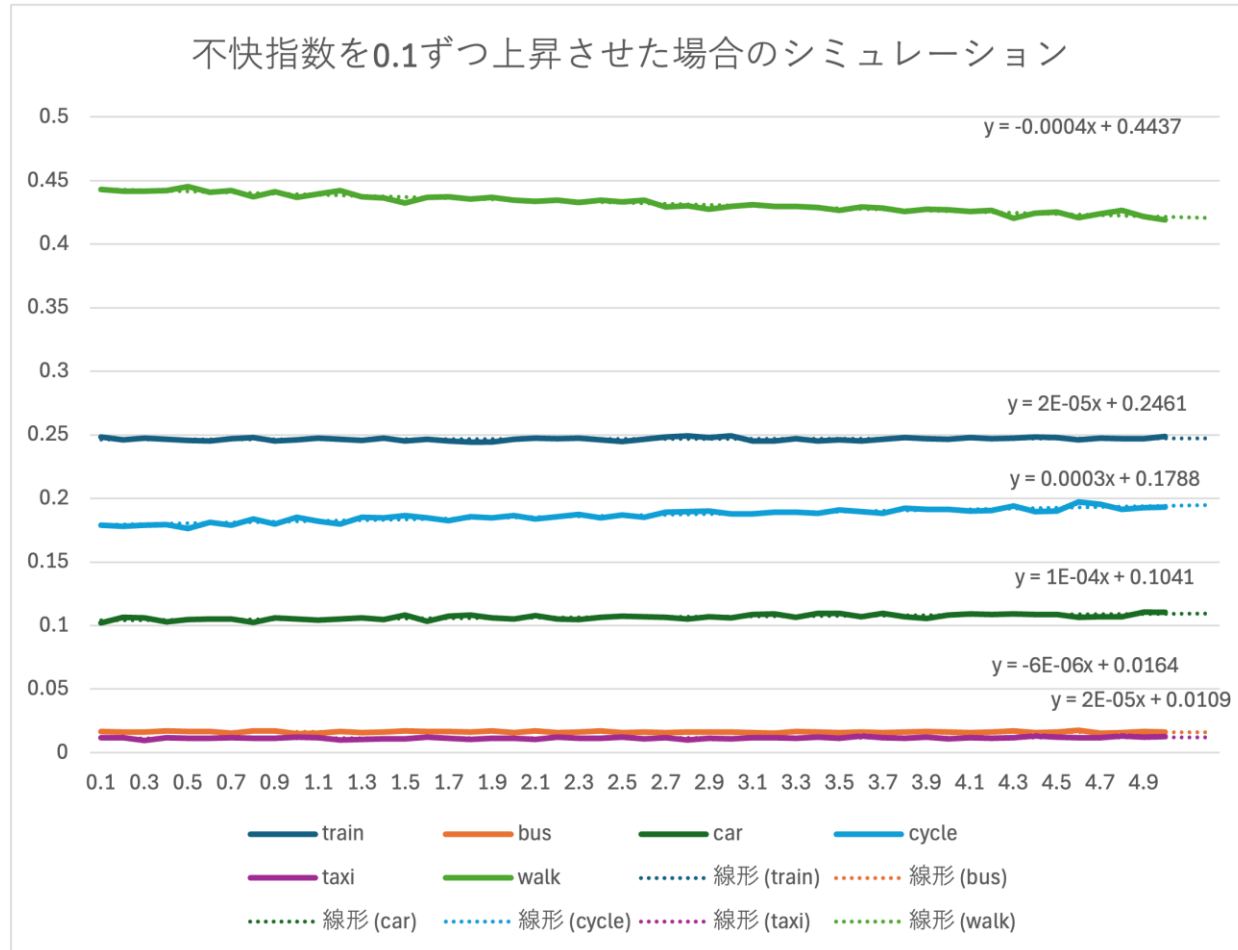
The policies considered were “improving the walking environment by increasing the roof ratio” and “discounting the cost of public transportation based on temperature”. The results showed that the increase in the percentage of roofs: walking increased and bicycling decreased, indicating that roof improvements are effective in increasing the number of pedestrians in response to climate change. On the other hand, it is necessary to improve the results by using the whole roof data and including transportation other than walking as an explanatory variable. The model also found that the public transportation discount rate did not affect the choice of means of transportation even when the discount rate was increased on midsummer days, which was considered to be due to the small effect of costs in the model.

参考文献

- 豊洲PP調査(2019)
- 気象庁：過去の気象データ, <[気象庁 | 過去の気象データ検索 \(jma.go.jp\)](https://www.jma.go.jp/jma/flow/kyoou/)> (2024/09/11閲覧)
- 気象庁：日本の年平均気温, <[気象庁 | 日本の年平均気温 \(jma.go.jp\)](https://www.jma.go.jp/jma/flow/kyoou/)> (2024/09/11閲覧)
- 日本交通株式会社：タクシー料金について, <[タクシー料金について | 東京のタクシーなら日本交通 \(nihon-kotsu-taxi.jp\)](https://www.nihon-kotsu-taxi.jp/)>
- 不快指数の計算, <[不快指数の計算 | 健康の計算 | 計算サイト \(calc-site.com\)](https://calc-site.com/)> (2024/09/12閲覧)

補 不快指数を0.1ずつ上昇させたシミュレーション

Simulation of temperature humidity index increase by 0.1



不快指数が上昇すると、

- 徒歩が減少
- 自転車, 電車, 自動車が増加傾向

As the temperature humidity index increase

- Walk decreases
- Cycle, train, car increase