

自転車旅行速度の推定と活用方法に関する提案

山本 彰¹・小林 寛¹・橋本 雄太¹・上坂 克巳¹・岸田 真²

¹正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路研究部 道路研究室
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)
E-mail:yamamoto-a84zx@nilim.go.jp

²非会員 財団法人国土技術研究センター 道路政策グループ
(〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-12-1)
E-mail:m.kishida@jice.or.jp

本論では、都市内交通手段として自転車の利用推進策の検討に際し、活用が期待される指標の一つとして、自転車の旅行速度推定式に着目して研究を行った。

自転車旅行速度は、信号交差点による影響が大きいことが過年度の研究成果で明らかになっている。よって、過年度の成果を踏まえ、単路部の通行空間に応じた速度と信号交差点による影響を考慮した自転車旅行速度推定式を構築した。

構築した推定式の検証として、過年度、東京都江東区亀戸駅周辺で実施した公道における自転車旅行速度調査結果を用いて、調査結果と推定式による結果との比較を行った。その結果、調査に参加した被験者9名の平均旅行速度と推定式で算出した旅行速度とがほぼ一致し、平均的な自転車旅行速度を推定できることを確認した。

また、自転車旅行速度推定式の活用方法として、2地点間の移動にかかる所要時間の推定や、地域全体の平均的な自転車旅行速度の推定についても提案を行った。

Key Words : *bicycle, travelling speed, cycling space, signalized intersection, bicycle use promotion*

1. はじめに

自転車は、都市内交通手段として利便性が高く、環境負荷も低いため、CO₂排出抑制策の一つとして、自動車から自転車への転換が期待されている。一方で、全交通事故に占める自転車関連事故の割合は、増加傾向にあり、自転車通行空間の安全性向上が求められている。

それら自転車の利用促進と安全な通行空間確保を目的とした自転車ネットワーク計画などの検討に際し、活用が期待される指標の一つとして、本論では、自転車旅行速度に着目する。

想定される活用場面の例としては、①目的地に自転車で行く場合の所要時間（旅行時間）を自動車利用者へ提供できれば、自転車に転換を促す動機付けの一つとなると考えられる。また、国土交通省と警察庁が平成23年11月に設置した「安全で快適な自転車利用環境の創出に向けた検討委員会」の提言でも示された面的な自転車ネットワーク計画の検討にあたって、所要時間から自転車を有効に活用できる地域や計画エリアを設定することができる。

このように自転車の旅行速度推定式は、様々な場面で貴重な基礎資料を提供すると考える。

これまでの自転車の速度に関する既存研究としては、自歩道において自転車の通行位置や地点速度を調査し、自転車の歩道通行時における走行実態を明らかにしたもの^{1,2)}、歩行者と自転車とが混在する状況下において、歩行者及び自転車の存在密度と自転車速度（調査区間20m）の関係性を明らかにしたもの³⁾などがある。これらはいずれも短い区間における自転車の地点速度についての研究であり、ある目的を持ったトリップを移動する場合の自転車の速度（旅行速度）を扱ったものではない。

また、ある程度離れた2地点間における自転車の旅行時間（所要時間）は、経路選択嗜好等に関する研究⁴⁾で調査されているものの、信号交差点の影響を考慮し自転車旅行速度を推定するまでには至っていない。

よって、本論では、過年度に明らかにした外的要因の影響を受ける状況下における通行空間別の旅行速度を基に、信号交差点の影響を定量化し、都市内における自転車の旅行速度を、簡易に推定する方法を明らかにすることを目的とする。

2. 過年度実施の公道における自転車旅行速度調査から得られた信号交差点の影響

(1) 調査概要

調査は、様々な外的要因の影響を受ける公道上において、自転車の旅行速度がどのように変化するかを把握するため、東京都江東区亀戸駅周辺に設定した図-1に示す経路で実走調査を実施した。調査概要を表-1に示す。

表-1 公道における自転車旅行速度の概要

調査日時	平成22年12月18日(土) 10:00~16:00
調査場所	東京都江東区亀戸駅周辺に8の字を描く2コースを設定
走行距離	約5.0km
気象状況 (東京)	天気:晴れ 平均風速:1~2m 最低気温:6.0℃(10:00) 最高気温:9.7℃(14:30)
使用自転車	軽快車は全員乗車。電動アシスト付自転車は3名乗車

調査経路は、様々な自転車通行空間でデータを収集することを目的とし、自転車道、自転車歩行者道(以下「自歩道」という。)、車道(細街路を含む)を通行する1周約5kmの経路を設定し、順回り(亀戸駅北上コース)、逆回り(亀戸駅南下コース)の2コースとした。各コースにおける通行空間別の延長及び割合を表-2に示す。なお、交差点部の区間設定については、図-2に示すとおりとした。

この調査で使用した自転車は、(財)自転車産業振興協会の報告による国内の販売動向⁹⁾より、最も販売実績のある軽快車(ギアなし)を採用した。なお、軽快車と比較するため、今後の普及が見込まれる電動アシスト付き自転車(以下「アシスト車」という。)についても実走調査を行ったものの、サンプル数が少なく通行空間別の平均速度は算出してないため参考値として取り扱うこととする。

また、速度データ等は、GPSを活用した市販の自転車速度計をそれぞれの自転車に装着し、データ取得を行った。なお、被験者には、計測機器の画面が見えないように配慮し実施した。

実走調査における被験者は、男性は10~50代の年代ごとに各1名、女性は10, 30~50代の年代ごとに各1名、合計男女9人とした。なお、被験者は順回り、逆回りの各1周自転車に乗車いただき、合間に約1時間の休憩を設定し、調査を実施した。

(2) 信号交差点の影響

図-3は、コース1周全区間でデータが正確に取得できた11データについて、コース1周に占める各通行空間の総延長と通行空間別の総旅行時間の割合を示している。

これによると、信号交差点の区間(図-2参照)は、全体延長の約10%に対して信号交差点の通過にかかる旅行時間は、全体の20~40%を占めていることが分かる。

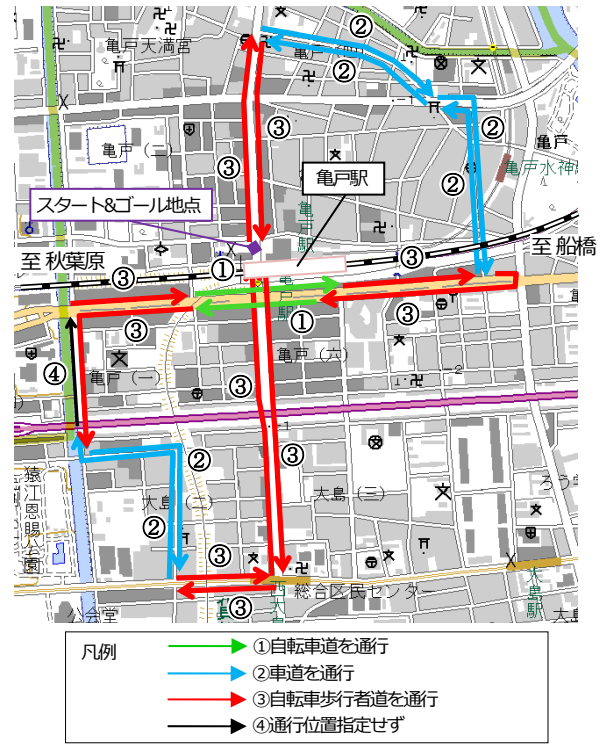


図-1 亀戸駅周辺で設定した調査経路

表-2 調査コースにおける各通行空間の延長及び割合

順回り(亀戸駅北上ルート)								
	車道	細街路	自転車道	自歩道	信号交差点	信号のない交差点	踏切	合計
距離	462m	1,238m	200m	2,596m	607m	165m	21m	5,290m
割合	8.7%	23.4%	3.8%	49.1%	11.5%	3.1%	0.4%	100.0%
逆回り(亀戸駅南下ルート)								
	車道	細街路	自転車道	自歩道	信号交差点	信号のない交差点	踏切	合計
距離	457m	1,279m	289m	2,364m	675m	54m	21m	5,140m
割合	8.9%	24.9%	5.6%	46.0%	13.1%	1.1%	0.4%	100.0%

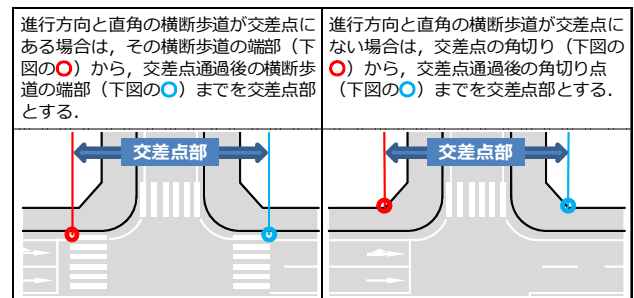


図-2 交差点部の区間設定について

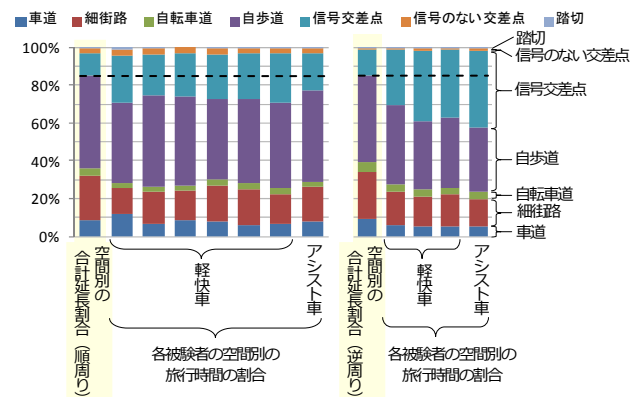


図-3 コース1周に占める通行空間別延長及び旅行時間の割合

さらに、信号交差点の他に自転車旅行速度に大きな影響を与えているものを把握するため、コース1周に占める通行空間別の総延長と通行空間別の総旅行時間の割合を、散布図で表したものを図4に示す。

その結果、やはり信号交差点だけが突出して自転車旅行時間に対する影響が大きいことを明らかにすることができ、かつ、信号のない交差点や踏切については、自転車旅行時間に対する影響は小さいと考えることができる。

よって、自転車旅行速度推定式は、通行空間別の自転車旅行速度に、信号交差点の影響を反映した式とする。

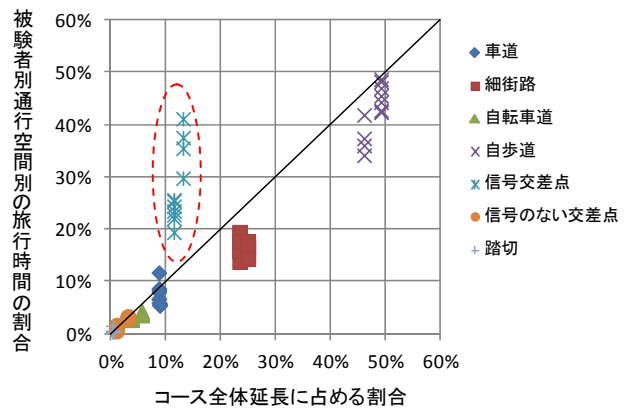


図4 散布図を用いたコース1周に占める通行空間別延長及び旅行時間の割合

3. 信号交差点の影響を考慮した自転車旅行速度推定式

(1) 単路部の自転車旅行速度

自転車旅行速度推定式に用いる通行空間別の自転車旅行速度については、2.で述べた公道における自転車旅行速度調査結果(図5参照)から得られた表3に示す通行空間別の平均旅行速度を採用することとする。当該の通行空間別の旅行速度に関する分析は、文献6)を参照にされたい。

なお、自転車が自歩道を通行する際は原則徐行であり、表3に示す自歩道の速度11.6km/hは、徐行速度とは言い難い。また、歩行者の歩行速度は、歩行者用信号現示の設計においては時速3.6km⁷⁾、不動産の表示に関する公正競争規約施行規則においては時速4.8kmとされている。

よって、自歩道を通行する自転車の旅行速度は、それらの中間的な速度である8km/h程度を用いることも考えられる。

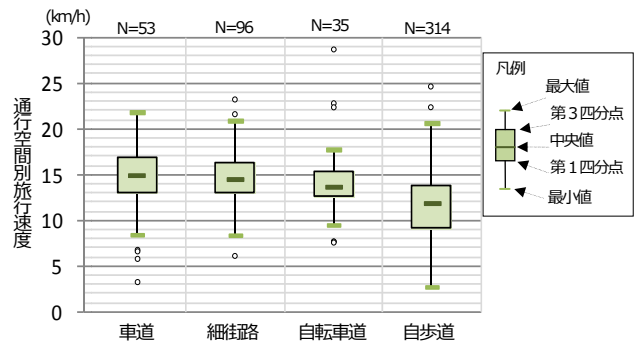


図5 通行空間別旅行速度の分布

表3 通行空間別旅行速度の平均値

	車道	細街路	自転車道	自歩道
平均値	14.5	14.7	14.4	11.6

※自転車専用通行帯は、車道の値を用いることとする。

$$C_b = S_b \frac{g_b}{C} \quad (1a)$$

$$d_b = \frac{0.5C(1 - g_b/C)^2}{1 - \min\left[\frac{v_{bic}}{c_b}, 1.0\right] \frac{g_b}{C}} \quad (1b)$$

ここで、

C_b : 自転車レーンの交通容量(台/h)

S_b : 自転車レーンの飽和交通流量(台/h)=2,000(台/h)

g_b : 自転車の青時間(s)

C : 信号サイクル長(s)

d_b : 交差点における遅れ時間(s)

v_{bic} : 自転車交通量(台/h)

(2) 信号交差点における遅れ時間

a) HCM2010⁸⁾で示されている遅れ時間の推定

HCM2010では、自転車レーンのある交差点における交差点遅れ時間は、自転車レーンの交通容量、信号サイクル長、青時間、自転車交通量を用いて、式(1a)、(1b)により推定している。

この2式を用いて、幾つかの条件下で交差点遅れ時間を算出した結果を図6に示す。これより、自転車1時間交通量が1台から1,000台に増加するにつれて、緩やかに遅れ時間が増加するということが分かる。これは、自転車交通量が増加すると1サイクル当たりには捌く自転車台数が増え、赤信号から青に切り替わった際に、すぐ発進できず、前車に続いて発進することになり、多少の遅れが発生することを表していると考えられる。

ただし、日本には様々な自転車通行空間があるため、それらに共通して使えることのできる信号遅れ時間の推定式を、b)で検討することとする。

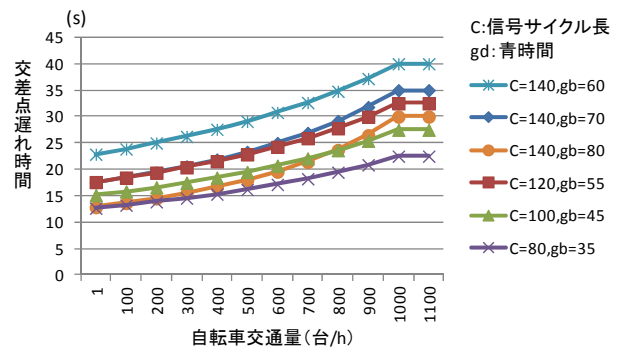


図6 HCM2010を用いた遅れ時間算出のケーススタディ

b) 信号遅れ時間の推定式の検討

1台の自転車が、ある2地点間を移動する際の信号交差点の影響を把握するには、通過する全ての信号交差点の信号サイクル長、青時間を調査すれば、平均的な信号遅れ時間は推定可能である。

平均的な信号遅れ時間は、図-7に示すようにサイクル長が100秒、青時間が45秒と設定した交差点において、1秒間隔で自転車が到着する場合の1台当たりの平均遅れ時間（平均停車時間）は15.4秒となる。この計算を一般化すると、式(2)で表される。

$$d = \frac{(C - g) \times [(C - g) + 1]}{2} \times \frac{1}{C} \quad (2)$$

ここで、
 d : 平均信号遅れ時間(s)
 C : 信号サイクル長(s)
 g : 青時間(s)

なお、式(2)は信号交差点を直進又は左折する場合に適用されるものの、交差点で自転車が右折する際は、図-8に示すように二段階右折をする必要があり、二段階右折時の2回目の横断時に発生する信号遅れ時間を推定する必要がある。

よって、二段階右折時の2回目の横断時の信号遅れ時間を図-7のケースを用いて検討した結果、図-9に示した2回目の信号における遅れ時間は、二段階右折時の2回目の信号の青時間を45秒、クリアランス時間（黄+全赤）を5秒と設定すると、1秒間隔で自転車が到着する場合の1台当たりの平均遅れ時間は40.1秒となる。この計算を一般化すると式(3)で表される。

$$d_{TR} = \frac{g \times (2C - g + 1)}{2} \times \frac{1}{C} + L \quad (3)$$

ここで、
 d_{TR} : 二段階右折時の2回目の信号による平均遅れ時間(s)
 L : 現示切り替え時のクリアランス時間(s)

以上を踏まえ、ある2地点間を移動する際の信号交差点における信号遅れ時間の推定式として、式(4)を提案する。

$$d_{ab} = \sum_i d_i + \sum_i d_{TR_i} \quad (4)$$

$$d_i = \frac{(C_i - g_i) \times [(C_i - g_i) + 1]}{2} \times \frac{1}{C_i} \quad (4a)$$

$$d_{TR_i} = \frac{g_i \times (2C_i - g_i + 1)}{2} \times \frac{1}{C_i} + L_i \quad (4b)$$

ここで、
 d_{ab} : ある2地点間における平均信号遅れ時間(s)
 d_i : 信号交差点 i の平均信号遅れ時間(s)
 d_{TR_i} : 信号交差点 i における二段階右折を行う際の2回目の信号による平均信号遅れ時間(s)
 C_i : 信号交差点 i における信号サイクル長(s)
 g_i : 信号交差点 i の青時間(s)
 L_i : 信号交差点 i における現示切り替え時のクリアランス時間(s)

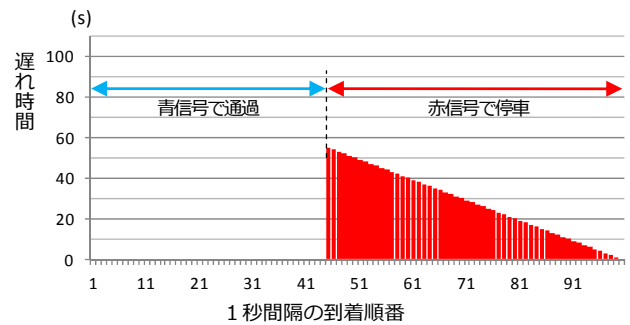


図-7 1秒間隔で到着する自転車の信号遅れ時間

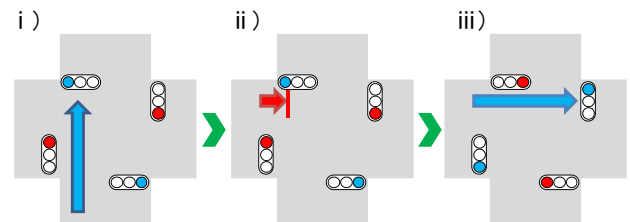


図-8 道路交通法に従って二段階右折する際の方法

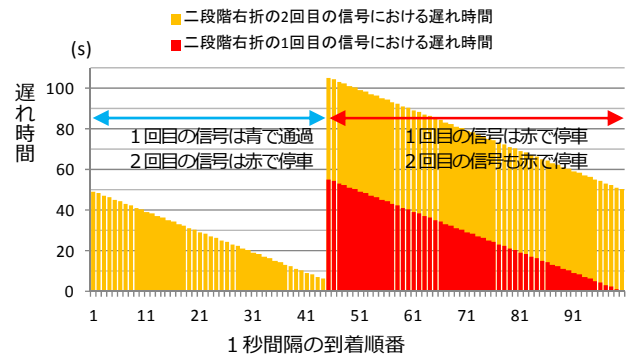


図-9 道路交通法に従って二段階右折する際の信号遅れ時間

c) 活用場面に応じた簡易な信号遅れ時間推定式の提案

b)で提案した式(4a), (4b)を活用するには、全ての交差点において、信号サイクル長、青時間を把握する必要がある。しかし、このような情報を把握するには、信号交差点の数が少ない場合や別途調査で既知である場合を除いて困難である。

よって、限られた情報を基に自転車旅行速度を推定する簡易な推定式を提案する。

① ある2地点間を移動する際の信号交差点の影響を簡易に推定する方法

道路交通センサスの道路状況調査では、道路状況調査単位区間毎に、代表信号交差点の信号サイクル長及び青時間を調査することが調査実施要綱で定められている。このため、代表的な信号交差点の信号サイクル長及び青時間の情報は、比較的容易に入手可能であると考えられる。

よって、全ての交差点を対象とするのではなく、既に信号サイクル長及び青時間が把握できている代表的な交差点の情報を基に信号遅れ時間を求め、2地点間に存在している信号交差点の数を掛け合わせる方法が考え

られる。

また、信号現示の切り替え時のクリアランス時間については、交差点の大きさに起因し、5～7秒が標準⁷⁾とされる。よって、推定式ではクリアランス時間を5秒と定めることとする。

以上を踏まえ、簡易な平均遅れ時間推定式として式(4)、(4a)、(4b)を改めると、式(5)、(5a)、(5b)となる。

$$d_{abs} = \sum_i d_{is} + \sum_i d_{TR_{is}} \quad (5)$$

$$d_{is} = \frac{(C_i - g_i) \times [(C_i - g_i) + 1]}{2} \times \frac{1}{C_i} \times N_i \quad (5a)$$

$$d_{TR_{is}} = \left[\frac{g_i \times (2C_i - g_i + 1)}{2} \times \frac{1}{C_i} + 5 \right] \times N_{TR_i} \quad (5b)$$

ここで、
 d_{abs} : 代表的な信号交差点のサイクル長及び青時間から推定される平均遅れ時間(s)
 N_i : 2地点間に存在している信号交差点数 (右折する交差点もカウントする)
 N_{TR_i} : 2地点間を移動する際の右折する信号交差点の数

さらに、より簡易な方法としてクリアランス時間を無視し、青時間を信号サイクル長の0.5倍と見なし、式(5)、(5a)、(5b)を改めると、以下の式(6)、(6a)、(6b)となる。

$$d_{ab_{ss}} = \sum_i d_{i_{ss}} + \sum_i d_{TR_{i_{ss}}} \quad (6)$$

$$d_{i_{ss}} = \left(\frac{1}{8} C_i + 0.25 \right) \times N_i \doteq \frac{1}{8} C_i \times N_i \quad (6a)$$

$$d_{TR_{i_{ss}}} = \left(\frac{3}{8} C_i + 0.25 \right) \times N_{TR_i} \doteq \frac{3}{8} C_i \times N_{TR_i} \quad (6b)$$

ここで、
 $d_{ab_{ss}}$ = 代表的な信号交差点のサイクル長のみから推定される平均遅れ時間(s)
 ※式中の 0.25 は、信号サイクル長 C_i と比較し、極めて小さい値であることから無視した。

なお、式(6a)、(6b)は、道路交通センサスの道路状況調査単位区間毎に遅れ時間を推定することが望ましいものの、推定する2地点間の中でも特に代表的な信号交差点を1箇所選定し、当該信号交差点の信号サイクル長及び青時間を推定式に代入し、推定する方法も考えられる。

②地域全体における信号交差点の影響を簡易に推定する方法

面的に拡がりを持った地区を対象とし、1km当たりの平均信号遅れ時間を推定する式を提案する。

この1km当たりの平均信号遅れ時間の推定には、地域の平均的な信号交差点密度及び信号サイクル長を把握する必要がある。

ただし、地域内の全ての信号交差点の数や信号サイクル長の情報を把握することは困難である。

よって、①と同様に道路交通センサスで把握できる信号交差点密度及び信号サイクル長の情報を活用した推定式とする。

なお、信号交差点を右折する回数は、直進又は左折する回数と比較して相当少ないと考え、二段階右折時の

2回目の横断時に発生する信号遅れ時間は無視することとする。

以上を踏まえ、地域全体における信号交差点の影響を把握するための簡易な推定式として式(4)を改めると、式(7)となる。

$$d_{km} = \frac{1}{8} C_A \times N_{km} \quad (7)$$

ここで、
 d_{km} : 1kmあたりの平均信号遅れ時間(s)
 C_A : 平均信号サイクル長(s)
 N_{km} : 1kmあたりの平均信号交差点数

(3) 簡易な自転車旅行速度推定式の提案

(1)及び(2)を踏まえ、簡易な自転車旅行速度推定式として、以下の式(8)を提案する。

$$V_{ab} = \frac{l_{ab}}{\frac{l_{ab}}{V} + \frac{d_{ab}}{3600}} \quad (8)$$

$$V = \left(\frac{V_{車道} \times l_{車道} + V_{細街路} \times l_{細街路} + V_{自転車道} \times l_{自転車道} + V_{自歩道} \times l_{自歩道}}{l_{ab}} \right) \quad (8a)$$

ここで、
 V_{ab} : ある2地点間における平均的な自転車旅行速度(km/h)
 l_{ab} : ある2地点間の距離(km)
 V : 基準自転車旅行速度(km/h)
 d_{ab} : ある2地点間における信号遅れ時間(s)
 $V_{車道}$: 車道の旅行速度の平均値=14.5(km/h)
 $l_{車道}$: ある2地点間において車道を通行する区間の総延長(km)
 $V_{細街路}$: 細街路の旅行速度の平均値=14.7(km/h)
 $l_{細街路}$: ある2地点間において細街路を通行する区間の総延長(km)
 $V_{自転車道}$: 自転車道の旅行速度の平均値=14.4(km/h)
 $l_{自転車道}$: ある2地点間において自転車道を通行する区間の総延長(km)
 $V_{自歩道}$: 自歩道の旅行速度=4,5又は8(km/h)
 $l_{自歩道}$: ある2地点間において自歩道を通行する区間の総延長(km)

※交差点区間の延長は、経路上手前の通行空間に含めるものとして計算することとする。

また、参考として地域全体における自転車旅行速度を推定する式には、以下の式(9)を提案する。

なお、この式は、例えば自転車ネットワークに定めた路線において、自転車の通行空間別に延長集計した値を代入することなどが考えられる。

$$V_A = \frac{1}{\frac{1}{V_{NET}} + \frac{d_{km}}{3600}} \quad (9)$$

$$V_{NET} = \left(\frac{V_{車道NET} \times l_{車道NET} + V_{細街路NET} \times l_{細街路NET} + V_{自転車道NET} \times l_{自転車道NET} + V_{自歩道NET} \times l_{自歩道NET}}{l_{NET}} \right) \quad (9a)$$

ここで、
 V_A : 地域(又は自転車ネットワーク)における平均的な自転車旅行速度(km/h)
 V_{NET} : 地域(又は自転車ネットワーク)における基準自転車旅行速度(km/h)
 $l_{車道NET}$: 地域(又は自転車ネットワーク)における車道を通行する区間の総延長(km)
 $l_{細街路NET}$: 地域(又は自転車ネットワーク)における細街路を通行する区間の総延長(km)
 $l_{自転車道NET}$: 地域(又は自転車ネットワーク)における自転車道を通行する区間の総延長(km)
 $l_{自歩道NET}$: 地域(又は自転車ネットワーク)における自歩道を通行する区間の総延長(km)

(4) 簡易な自転車旅行速度推定式の検証

(3)で提案した式(8)の自転車旅行速度推定式について、2.で述べた公道における自転車旅行速度調査の結果と比較し、検証を行うこととする。

なお、平均信号遅れ時間の算出にあたっては、a)道路交通センサから得られる代表信号交差点の信号サイクル長及び青時間を活用した式(5), (5a), (5b)と、b)信号サイクル長のみを活用した式(6), (6a), (6b)の2つの方法を用いることとする。

検証方法は、公道における自転車旅行速度調査で実施した順周り(亀戸駅北上コース)、逆回り(亀戸駅南下コース)のそれぞれ2コースについて、被験者が軽快車で走行した際のコース1周旅行速度と自転車旅行速度推定式で算出した結果とを比較し、照合することとする。

a) 代表交差点における信号サイクル長及び青時間を
用いた自転車旅行速度推定式の検証

コース上の信号交差点の位置を図-10に示す。また、推定式に代入する値及び自転車旅行速度の推定結果については、コース毎に表4,5に詳細を示す。

なお、平均信号遅れ時間の算出にあたっての代表信号交差点は、国道14号と都道306号線が交わる亀戸駅前交差点の1箇所を選定した。また、自歩道の旅行速度は、調査で得られた平均値を用いることとする。

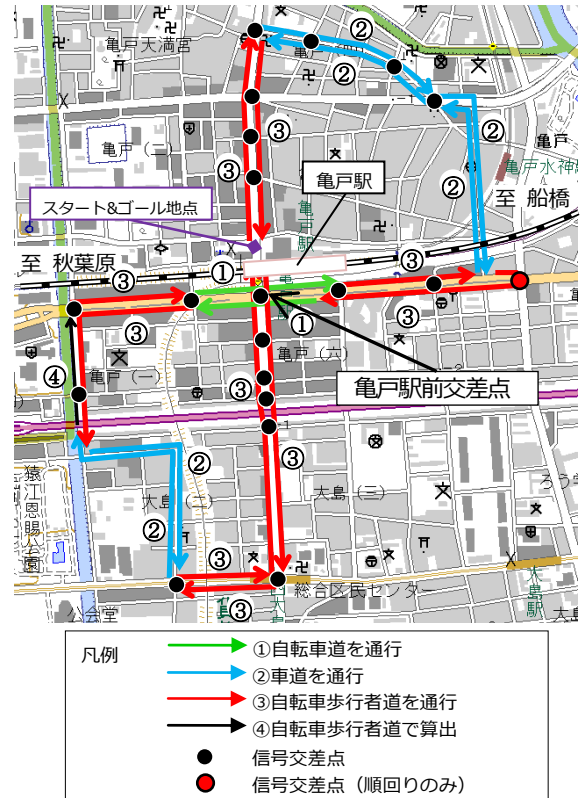


図-10 コース上の信号交差点の状況

表-4 順周りにおける自転車旅行速度推定式の算出

式(8a)に基づく基準自転車旅行速度Vの算出	
$l_{ab} = 5.290$ (km)	
$l_{車道} = 0.538$ (km)	$l_{細街路} = 1.324$ (km)
$l_{自転車道} = 0.333$ (km)	$l_{自歩道} = 3.095$ (km)
$V_{ab} = \frac{V_{車道} \times l_{車道} + V_{細街路} \times l_{細街路} + V_{自転車道} \times l_{自転車道} + V_{自歩道} \times l_{自歩道}}{l_{ab}}$ $= \frac{14.5 \times 0.538 + 14.7 \times 1.324 + 14.4 \times 0.333 + 11.6 \times 3.095}{5.290}$ $= 12.8(\text{km/h})$	
式(5), (5a), (5b)に基づく信号遅れ時間 d_{ab} の算出	
代表信号交差点の信号サイクル長 $C_i = 140$ (s)	
代表信号交差点の青時間 $g_i = 68$ (s)	
信号交差点の数 $N = 21$	
右折する信号交差点の数 $N_{TRi} = 1$	
$d_i = \frac{(140 - 68) \times (140 - 68 + 1)}{2} \times \frac{1}{140} \times 21 = 394(\text{s})$ $d_{TRi} = \left[\frac{68 \times (2 \times 140 - 68 + 1)}{2} \times \frac{1}{140} + 5 \right] \times 1 = 57(\text{s})$ $d_{ab} = d_i + d_{TRi} = 394 + 57 = 451(\text{s})$	
式(8)に基づく自転車旅行速度 V_{ab} の算出	
$V_{ab} = \frac{l_{ab}}{\frac{l_{ab}}{V} + \frac{d_{ab}}{3600}} = \frac{5.290}{\frac{5.290}{12.8} + \frac{451}{3600}} = 9.8(\text{km/h})$	
コース1周所要時間 = 32分23秒 = 1,943秒	

表-5 逆周りにおける自転車旅行速度推定式の算出

式(8a)に基づく基準自転車旅行速度Vの算出	
$l_{ab} = 5.140$ (km)	
$l_{車道} = 0.528$ (km)	$l_{細街路} = 1.381$ (km)
$l_{自転車道} = 0.405$ (km)	$l_{自歩道} = 2.826$ (km)
$V_{ab} = \frac{V_{車道} \times l_{車道} + V_{細街路} \times l_{細街路} + V_{自転車道} \times l_{自転車道} + V_{自歩道} \times l_{自歩道}}{l_{ab}}$ $= \frac{14.5 \times 0.528 + 14.7 \times 1.381 + 14.4 \times 0.405 + 11.6 \times 2.826}{5.140}$ $= 13.0(\text{km/h})$	
式(5), (5a), (5b)に基づく信号遅れ時間 d_{ab} の算出	
代表信号交差点の信号サイクル長 $C_i = 140$ (s)	
代表信号交差点の青時間 $g_i = 68$ (s)	
信号交差点の数 $N = 20$	
右折する信号交差点の数 $N_{TRi} = 4$	
$d_i = \frac{(140 - 68) \times (140 - 68 + 1)}{2} \times \frac{1}{140} \times 20 = 375(\text{s})$ $d_{TRi} = \left[\frac{68 \times (2 \times 140 - 68 + 1)}{2} \times \frac{1}{140} + 5 \right] \times 4 = 227(\text{s})$ $d_{ab} = d_i + d_{TRi} = 375 + 227 = 602(\text{s})$	
式(8)に基づく自転車旅行速度 V_{ab} の算出	
$V_{ab} = \frac{l_{ab}}{\frac{l_{ab}}{V} + \frac{d_{ab}}{3600}} = \frac{5.140}{\frac{5.140}{13.0} + \frac{602}{3600}} = 9.1(\text{km/h})$	
コース1周所要時間 = 33分53秒 = 2,033秒	

表-4.5で示した自転車旅行速度の推定結果と、調査で得られた各被験者のコース1周旅行速度との比較結果を表-6に示す。この結果から、被験者9名の平均値と推定式で算出した推定値とがほぼ一致することが分かった。

b) 代表交差点における信号サイクル長のみを用いた自転車旅行速度推定式の検証

a)と同様に、推定式に代入する値及び自転車旅行速度の推定結果を、コース毎に表-7, 8に詳細を示す。なお、式(8a)に基づく基準自転車旅行速度は同値であるため省略する。

表-7 順周りに関する自転車旅行速度推定式の算出

式(6), (6a), (6b)に基づく信号遅れ時間 d_{ab} の算出	
代表信号交差点の信号サイクル長 $C_i = 140(s)$	
信号交差点の数 $N = 21$	
右折する信号交差点の数 $N_{TRi} = 1$	
$d_i = \frac{1}{8} \times 140 \times 21 = 368(s)$	
$d_{TRi} = \frac{3}{8} \times 140 \times 1 = 53(s)$	
$d_{ab} = d_i + d_{TRi} = 368 + 53 = 421(s)$	
式(8)に基づく自転車旅行速度 V_{ab} の算出	
$V_{ab} = \frac{l_{ab}}{\frac{l_{ab}}{V} + \frac{d_{ab}}{3600}} = \frac{5.290}{\frac{5.290}{12.8} + \frac{421}{3600}} = 10.0(km/h)$	
コース1周所要時間 = 31分44秒 = 1,904秒	

表-7.8で示した自転車旅行速度の推定結果と、調査で得られた各被験者のコース1周旅行速度との比較結果を表-9に示す。この結果から、a)で示した信号サイクル長及び青時間から推定する方法より、僅かであるが被験者のコース1周旅行速度の平均値との差が大きくなり、推定式で算出した推定値が速めになったことが分かった。

c) 検証のまとめ

今回、提案した信号交差点での遅れ時間を考慮した自転車旅行速度推定式で算出した推定値は、公道における自転車旅行速度調査で得られた平均値とほぼ一致し、推定式の有効性が確認できた。

なお、代表交差点における信号サイクル長及び青時間から推定する方法と、よりシンプルに信号サイクル長のみから推定する方法とでは、推定値に若干の差が生じたものの、図-11に示すとおり、被験者の個別データのバラツキと比較すると、推定値と平均値の差は、問題となるほどの差ではないと考えられる。

よって、本論において自転車旅行速度推定式の平均信号遅れ時間の算出については、簡易であることを重視し、信号サイクル長のみから推定する式(6), (6a), (6b)を推奨したい。

表-6 式(5), (5a), (5b)を用いた推定値と調査データの比較

		(km/h)									
順周リ		10代男性	10代女性	20代男性	30代男性	30代女性	40代男性	40代女性	50代男性	50代女性	
調査データ		9.90	10.94	9.77	8.30	8.56	10.98	10.03	11.89	9.26	
被験者平均		9.84									
推定値		9.80									
逆周リ		10代男性	10代女性	20代男性	30代男性	30代女性	40代男性	40代女性	50代男性	50代女性	
調査データ		10.71	9.70	9.31	8.40	8.16	8.91	9.44	10.14	8.60	
被験者平均		9.20									
推定値		9.10									

表-8 逆周りに関する自転車旅行速度推定式の算出

式(6), (6a), (6b)に基づく信号遅れ時間 d_{ab} の算出	
代表信号交差点の信号サイクル長 $C_i = 140(s)$	
信号交差点の数 $N = 20$	
右折する信号交差点の数 $N_{TRi} = 4$	
$d_i = \frac{1}{8} \times 140 \times 20 = 350(s)$	
$d_{TRi} = \frac{3}{8} \times 140 \times 4 = 210(s)$	
$d_{ab} = d_i + d_{TRi} = 350 + 210 = 560(s)$	
式(8)に基づく自転車旅行速度 V_{ab} の算出	
$V_{ab} = \frac{l_{ab}}{\frac{l_{ab}}{V} + \frac{d_{ab}}{3600}} = \frac{5.140}{\frac{5.140}{13.0} + \frac{560}{3600}} = 9.3(km/h)$	
コース1周所要時間 = 33分9秒 = 1,989秒	

表-9 式(6), (6a), (6b)を用いた推定値と調査データの比較

		(km/h)									
順周リ		10代男性	10代女性	20代男性	30代男性	30代女性	40代男性	40代女性	50代男性	50代女性	
調査データ		9.90	10.94	9.77	8.30	8.56	10.98	10.03	11.89	9.26	
被験者平均		9.84									
推定値		10.00									
逆周リ		10代男性	10代女性	20代男性	30代男性	30代女性	40代男性	40代女性	50代男性	50代女性	
調査データ		10.71	9.70	9.31	8.40	8.16	8.91	9.44	10.14	8.60	
被験者平均		9.20									
推定値		9.30									

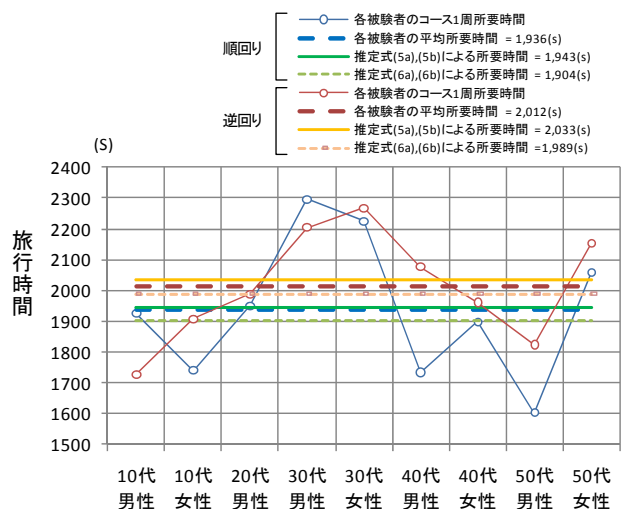


図-11 所要時間で見た調査データと推定値の比較

4. 自転車旅行速度推定式の活用方法

自転車旅行速度推定式の活用方法には、3.(4)の検証で示したような特定の2地点間における自転車旅行速度を推定する際に、大いに活用が期待される。中でも、近年各地で作成されている自転車マップにおいて、主な交差点間や拠点施設間の標準的な所要時間を示す場合などに、用いられることを期待する。

その他、図-12に示すような様々な交通手段との関係において、自転車で移動することが優位な距離帯を各地域で検討する際に、自転車旅行速度推定式を活用することが可能と考える。なお、図-12はそれぞれの交通手段別の傾きが旅行速度を表しているため、推定式で得られた結果をそのまま活用することが可能である。

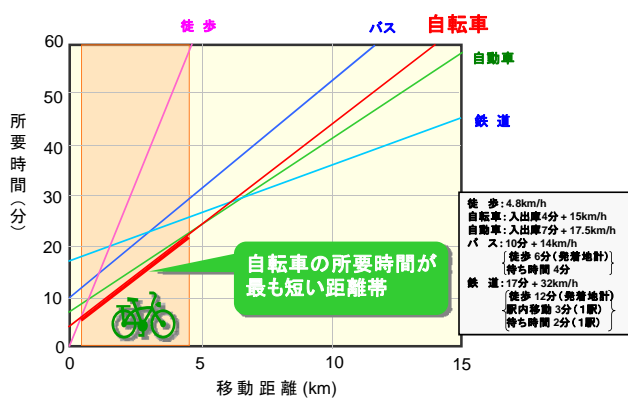


図-12 都市内交通手段として自転車が優位な距離帯の例

地域の平均的な自転車旅行速度を推定する場合は、3.で示した式(7)、(9)を活用することで推定が可能である。

これらの式は、地域における平均的な信号サイクル長及び1km当たりの信号交差点数（信号交差点密度）の情報が必須であるため、道路交通センサスの調査結果を用いることで、比較的簡易に検討することができる。

なお、この方法は、道路交通センサスの対象道路のみしか反映されないため、必要に応じて、地域のメインストリートとなっている市町村道等も独自に調査し、情報収集することも考えられる。

加えて、自転車と自動車の優位性を比較する場合は、同様に道路交通センサスの調査結果を用いて、当該地域の自動車の混雑時旅行速度等の情報を整理し、推定した自転車旅行速度と比較することで、優位性に関する検討を行うことが可能である。

5. まとめ

本研究では、自転車旅行速度に対する信号交差点の影響を明らかにするとともに、信号交差点での遅れ時間を考慮した自転車旅行速度推定式を提案し、過年度実施した公道での自転車旅行速度の調査結果と比較検証を行い、有効性の確認を行った。

本研究で得られた主な成果は、以下のとおりである。

- 1) 自転車が様々な外的要因の影響を受ける公道を通行する際に、旅行速度に影響するものとして、信号交差点が大きく影響していることを確認した。
- 2) 自転車が信号交差点を通過する際の平均的な信号遅れ時間を算出する式を、直進又は左折時と右折時の2つのパターンに分けて提案した。
- 3) 提案した信号遅れ時間の推定式は、信号サイクル長及び青時間を基に算出する方法と、より簡易に推定すること目的として、信号サイクル長のみで推定する方法を提案した。
- 4) 提案した自転車旅行速度推定式で算出した推定値と、公道で実施した自転車旅行速度の調査結果との比較検証では、それぞれの値がほぼ一致し、推定式の有効性を確かめることができた。

参考文献

- 1) 高田邦道,木戸伴雄,小柳純也:自転車の歩道通行に関する走行実態,交通工学研究発表会論文報告集 Vol.20, pp.149-152, 2000.
- 2) 高田邦道,木戸伴雄,小柳純也,田中俊輔:自転車歩行者道の形態の違いが自転車の走行挙動に及ぼす影響,土木計画学研究・講演集 Vol.26, No.148, 2000
- 3) 山中英生,田代佳代子,山川仁,半田佳孝:自歩道等における自転車・歩行者混在交通の挙動分析,交通工学研究発表会論文報告集 Vol.20, pp.153-156, 2000.
- 4) 轟修,松村暢彦:実走調査による自転車の経路選択等の傾向に関する分析,土木計画学研究・講演集 Vol.30, No.346, 2004
- 5) (財)自転車産業振興協会:自転車国内販売動向調査月表, 2010.10
- 6) 山本彰,大脇鉄也,上坂克巳:自転車の走行空間等の違いによる旅行速度の差異に関する分析,土木計画学研究・講演集 Vol.43, 2011
- 7) (社)交通工学研究会:改訂平面交差の計画と設計 基礎編, 2002.7
- 8) Transportation Research Board (TRB): Highway Capacity Manual 2010, 2011.4

(2012. 5. 7 受付)