

自転車の走行環境に関する評価と考察

清水 宏孝¹・竹下 滋明²

¹滋賀県 土木交通部 監理課

²滋賀県 土木交通部 道路課

自転車は環境面や経済面などさまざまな面で優れた特性を持つ利便性の高い乗り物であるが、現状の道路において安全で快適な走行空間が十分に確保されているとは言い難い。そこで、道路空間におけるさまざまな走行形態を数値的に評価するとともに課題や問題点を抽出し、限られた道路空間において自転車の走行環境を創出するための検討を行った。

キーワード 自転車，速度，中間速度帯，路肩

1. はじめに

自転車は、移動する際のエネルギー効率が良く、環境への負荷が小さいことから、次世代の持続可能な社会を構築する柱の一つになると期待されている。また、移動速度も一定程度発揮でき、駐車に要する占有面積も小さいことなどから、使い方次第では非常に有用な移動手段であり、滋賀県においては各種の交通手段における自転車の占める割合（自転車分担率）が12%程度¹⁾と、すでに県民の日常生活に欠かせないものになっているといえる。一方で自転車による死傷を伴った事故の発生件数は交通事故全体の約12%²⁾を占め、近年では歩道上での歩行者と自転車の接触事故がクローズアップされるなど、自転車の利用に関する問題点が指摘されるようになってきている。これらのことから、自転車の走行環境を整えることは、交通体系に関する検討を行う上でも交通安全上の対策を講じる上でも重要な位置を占めるものと考えられる。しかしながら、現状の道路において自転車のための走行空間を構築することは、費用対効果や用地確保などの面で制約があり、一度に理想的な整備を進めることは容易なことではない。そこでここでは、限られた道路空間においてどのような走行形態であれば安全で快適な状態であるといえるのかについて、自動車や自転車の模式的な走行形態を数値的に評価するとともに、道路上の課題や問題点を抽出することにより、自転車の走行空間に関する検討を行った。

2. 道路における走行形態の評価

(1) 自転車等の諸元

a) 占有幅

道路上での空間配分を検討する上で、各道路利用者の

物理的な幅や占有幅は重要な要素であるといえる。「道路構造令の解説と運用³⁾」によると、歩行者の占有幅は0.75m、自転車の占有幅は1.0mという数値が示されている。また、車両制限令においては、自動車の幅は2.5m以下と規定されている（図-1）。

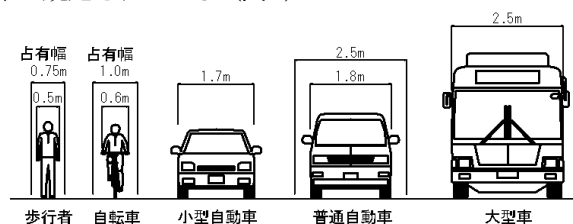


図-1 各道路利用者の占有幅等

b) 走行速度

道路利用者は基本的に移動することを目的としているため、概ね一定の速度をもった個体であると考えられる。その移動速度は、歩行者で4km/h、自転車で10～30km/h、自動車で40～60km/h程度が一般的と考えられる。自転車については、乗り手や車種によって走行速度に大きな差があり、同列に扱うことは適切ではないと考えられるため、ここでは遅い自転車（シティ車など）を10km/h、速い自転車（スポーツ車など）を20km/hと定義して検討を進める。自動車についても走行速度に差があるが、県が管理するような道路においては、設計速度を50km/hとしていることが一般的であるため、この値により検討を進める。なお、実行速度が設計速度を上回る状況も考えられるが、実行速度は道路交通法違反の可能性があるので、ここでは検討から除外する。

図-2では各移動手段別の移動速度と、それを秒速に換算した場合の1秒間に進む距離を示している。後述する走行形態の検討では、その状況を視覚的に表現するため、この図で示すような移動個体の表現方法を用いている。

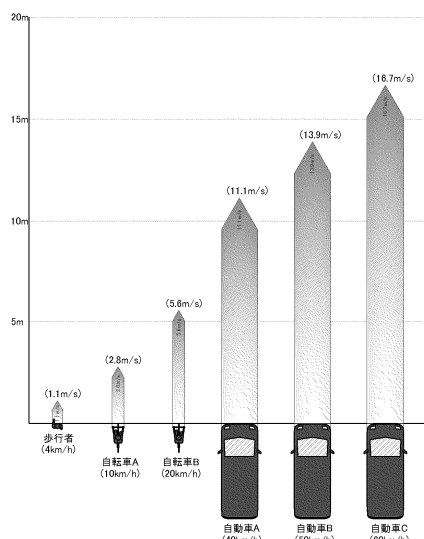


図-2 各道路利用者の移動速度

(2) 道路における走行形態の数値的評価の定義

移動を目的とする道路利用者にとって、利用しようとする道路空間が十分に広ければ、互いの存在を意識することなく自由に移動することが可能となるが、現実には土地利用などの制約があるため、限られた一定のスペースの中を複数の道路利用者が接近して移動することになる。このとき、道路を移動しようとする個体は、主に近接する他の個体との距離や位置関係の変化に注意しながら、安全の度合いを確かめつつ進行するものと考えられる。このときの位置関係の変化、すなわち移動する速度は、一方の個体から観測した場合には相対的な速度として認識される。この一方の個体から観測した場合の速度、すなわち、同一方向に進めば見かけ上はゆっくり移動しているように観測され、反対方向に進めば高速で移動しているように観測されるという相対速度の性質をもって、自身と他の個体との位置関係の変化を推し測り、接触や衝突を避けるように運動していると考えられる。絶対的な速度の大きさは、車体等の制動能力や衝突時のエネルギーに大きく影響することになるが、互いが接触することのない平常時の状態であれば、見かけ上の速度、すなわち相対的な速度関係は、判断や動作といった一連の運転行動において時間的余裕を得るための重要な要素になると考えられ、個体間の速度差が大きいことは、道路上の安全性を評価する上でマイナスの因子にあたると考えられる。そこでここでは、この個体間の速度差が小さいほど安全な状態が保たれていると仮定し、道路の走行空間を数値的に評価することを試みる。

上り下りの各方向に進むことのできる道路上に、速度 V で移動する n 個の個体があるとき、隣接する個体同士の速度差の総和は式(1)で表される。これを評価値 R とする。ここで、路外には道路を利用せず静止している個体があると仮定し、その速度を 0km/h とする。

$$R = \sum_{k=1}^{n+1} |V_k - V_{k-1}| \quad (1)$$

ここに、

R : 評価値

V_k : k 番目の個体の速度

ただし、

$$V_0 = V_{n+1} = 0$$

さてここで、隣接する個体同士の移動方向が逆向き、すなわちすれ違う状態の場合に、それらの個体は互いに自身の速度を減じるものと仮定し、個体の移動速度を式(2)により補正する。

$$v_k = \alpha V_k \quad (2)$$

ここに、

v_k : k 番目の個体の補正後の速度

V_k : k 番目の個体の補正前の速度

α : 補正係数

また、式(2)により速度を補正（抑制）することは、本来の走行能力を制約するマイナスの状態であると考えられるため、これを考慮して、移動個体の補正前の走行速度の絶対値の総和を補正後の走行速度の絶対値の総和で除したものを係数として補正することにより、道路の走行形態の評価値 R' を式(3)により求める。この時、 R' は数値が小さい程、評価が高いと考える。

$$R' = \gamma \sum_{k=1}^{n+1} |v_k - v_{k-1}| \rightarrow \min \quad (3)$$

ここに、

$$\gamma = \frac{\sum_{k=1}^n |V_k|}{\sum_{k=1}^n |v_k|} \quad (4)$$

(3) 模式的な走行形態に関する評価と評価結果

模式的な評価の事例として、道路を利用する個体が、上下各方向に進む歩行者、遅い自転車、速い自転車、自動車それぞれ2組ずつある場合を想定し、式(3)による評価値の算出を行った。各個体の移動速度は表-1のとおりとし、式(2)における係数 α は 0.9 とした。

なお、このケースでは交通量の多少は考慮せず、対象となる個体を単断面を通過する8つの個体に限定して評価している。また、本来の道路であれば、分離帯等によ

り隣接するもの同士の影響が小さくなることも考えられるが、分離帯を乗り越えて隣の個体に影響を及ぼすケースや、交差点などで分離帯が途切れる状況が考えられるため、ここでは、分離帯の影響は考慮しない。

表-1 各道路利用者の移動速度

	歩行者 A	歩行者 B	遅い 自転車 A	遅い 自転車 B	速い 自転車 A	速い 自転車 B	自動車 A	自動車 B
速度 (km/h)	4	-4	10	-10	20	-20	50	-50

(マイナスは正の数字とは逆方向に進むことを示す)

表-1に示した8つの個体がそれぞれ8つの走行レーンを通行すると仮定するとき、これらの走行形態の組合せパターンは8の階乗分、40320通り存在することになる。この組合せ全てについて式(3)による評価を行い、ランク付けを行った。その結果の一部を表-2に示す。

表-2 各組合せ毎の評価結果

RANK	ケースNo.	各個体の通行位置と移動速度 (km/h)								評価値R'
		レーン 1	レーン 2	レーン 3	レーン 4	レーン 5	レーン 6	レーン 7	レーン 8	
1	ケースNo.1051	4	10	20	50	-50	-20	-10	-4	191
1	ケースNo.6951	-4	-10	-20	-50	50	20	10	4	191
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
231	ケースNo.1911	4	-10	-20	-50	50	20	10	-4	210
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
39169	ケースNo.1	4	-4	10	-10	20	-20	50	-50	336

最も評価値が小さかった（良かった）のはケースNo.1051の組合せの場合とケースNo.6951の組合せの場合であった。また、最も評価値が大きい（悪い）結果となったのはケースNo.1他1151通りの場合であった。図-3にケースNo.1051とケースNo.1の場合の各個体の配置状況を示す。この図-3から、ケースNo.1051では、各個体が道路の端から速度の遅い順に秩序良く並び、道路中央で、速度が最も速い自動車同士がすれ違う状態となっていることがわかる。一方、ケースNo.1では、互いに隣接するもの同士すべてがすれ違う状態になっており、これが評価値を悪くした要因であると考えられる。また、ケースNo.1911はケースNo.1051と類似した歩行者の向きが異なる組合せであるが、歩行者は速度が小さく、評価に与える影響が小さいといえる。

これらのことから、道路空間上の走行形態として最もふさわしいのは、ケースNo.1051のように道路の端から速度の遅い順に秩序良く並んだ組合せであることが伺える。このことは、流体における層流が安定した流れの場

を形成するのと同様に、走行形態における秩序だった並びは、よりコントロールしやすく安全な状態を維持することにつながるものであることを示唆するものであると考える。

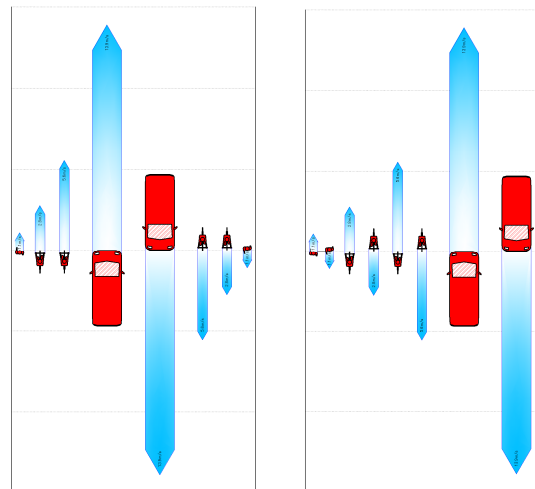


図-3 ケースNo.1051 (左) とケースNo.1 (右)

(4) 実際の道路空間における評価と評価結果

次に、この検討手法を、現実の道路空間上で考えられる交通形態に当てはめて考察する。検討した通行区分のパターンは次の4パターンとした。いずれも、道路全体の幅員は15mと設定している。個体数は表1に示した8個体としたが、隣接する個体に対向する場合に用いた速度軽減係数 α は使用せず、かわりに道路交通法の規定に基づいた走行速度を設定し、式(1)により各ケースの評価値を算出した。

・ケースA

ケースAは、県が管理する道路の一般的な幅員構成を示している。自転車は、歩道上を走行しており、速い自転車は速度を20km/hから10km/hに抑制している。また、歩道上で自転車同士がすれ違う部分は、互いに左側通行となるような通行形態としている。

・ケースB

ケースBは、速度の速い自転車が車道上を走行する場合である。速度の遅い自転車は歩道上を走行する。歩道上を逆走する自転車を設定したのは、自転車が道路を横断できない場合に、逆走方向に進行することを想定したためである。

・ケースC

ケースCは自転車道が道路の各側にある場合である。

・ケースD

ケースDは自転車道を片側に設けた場合である。自転車道がある場合、自転車は自転車道以外を走行することはできないため、すべての自転車が図上の左側を走行する設定となる。

以上の4ケースを図-5、図-6に示す。

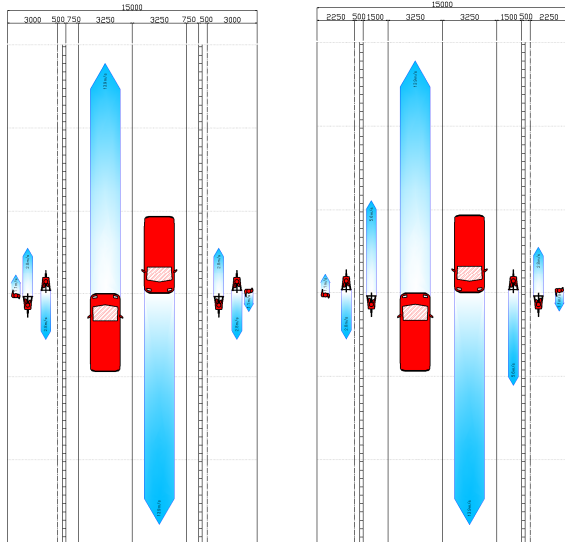


図-5 ケースA (左) とケースB (右)

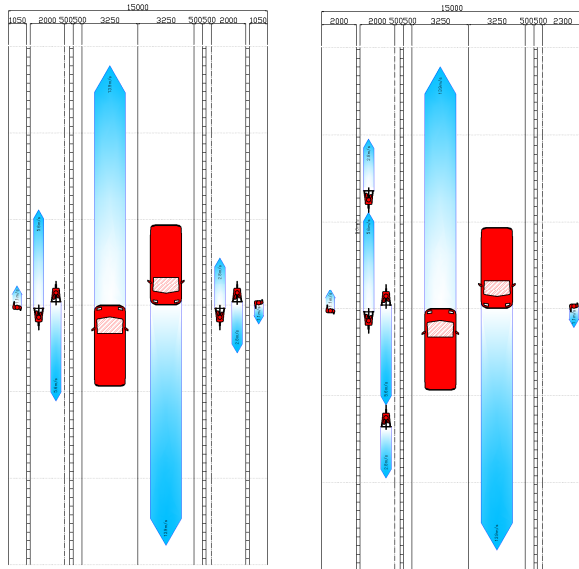


図-6 ケースC (左) とケースD (右)

それぞれのケース毎の評価値は表-3のとおりとなり、ケースBが最も評価が高い結果となった。このケースBは前節で理想的としたケースNo.1051に最も近い形態であり、歩道上を逆走する自転車を除いて、速度順に順序よく並んだ状態となっている。自動車進行方向とは逆走状態の自転車の存在は計算上は不利に働くと考えられるが、それでも、他の3ケースに比べて評価値が良い結果となった。

ケースAは評価値としてはケースBにつぐ結果となった。このケースでは、自転車が速度を抑制して歩道上を走行することで安全と考えられるにもかかわらず、すれ違い状態が随所に現れることが影響し評価値が下がる結果になっている。すなわち、歩道上で歩行者と自転車が錯綜している状態であるといえる。

ケースCは、自転車道を設けることで、分離を図っているケースであるが、こちらもすれ違い状態が随所に現

れ、評価値は最も低い結果となっている。さらに、ケースCでは、自転車道に大きな幅員を必要とするため、歩道の幅員が正規の幅を確保できない状態に陥ってしまっている。

ケースDはケースCで生じる道路幅員の問題を解決するため設定したものであるが、自転車利用者にとっては必ず自転車道を通らなければならないという制約が生じ自由度の低い走行形態であると言える。また、ケースCとケースDでは、自転車道上の狭い幅員の中を相対速度40km/hですれ違うため、対向時には注意が必要な状態となっている。

表-3 各組合せ毎の評価結果

	各個体の通行位置と移動速度 (km/h)								評価値R
	レーン1	レーン2	レーン3	レーン4	レーン5	レーン6	レーン7	レーン8	
caseA	4	10	-10	50	-50	10	-10	-4	280
caseB	4	-10	20	50	-50	-20	10	-4	256 BEST
caseC	4	20	-20	50	-50	10	-10	-4	320
caseD	4	30	-30	50	-50	-4	-	-	320

(5) 道路交差部の危険性に関する考察

ここでは(3)節で示したケースNo.1051などの走行形態を道路交差部にあてはめるときに想定される状況について考察する。

図-4は、自動車や自転車が直進する道路に対して側方から車両が進入する状態を示している。このとき、交差点へと進入してくる車両が目視する方向は右、左、右の順が基本であるため、左側から進行してくる自転車に対してはその視認が遅れる可能性がある。さらに建物などにより視距が悪い場合には、左側から進行してくる自転車はより視認しにくい状態となる。これに対して右側は視野が広くなることに加えて、ケースNo.1051のように速度の順に同一進行方向に並んだ状態では、逆走状態の自転車に比べ、進入してくる車両と接触する危険性が低くなるといえる。速度の速い移動体ほど道路端から離れて位置することも接触の危険性が低くなるポイントであるといえる。これらのことから、ケースNo.1051のような並びは道路交差部においてもより安全面で有利であることがうかがえる。

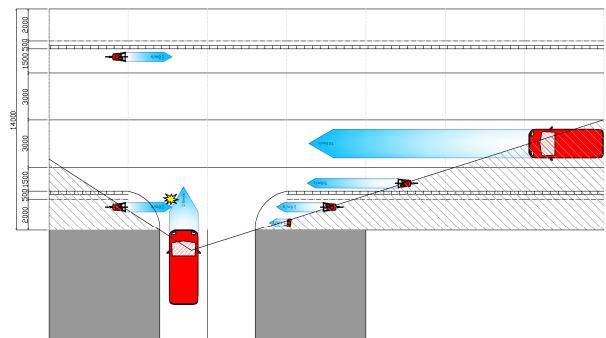


図-4 側方からの進入と視野角

3. 自転車の走行部分に関する考察

(1) 自転車の走行部分と道路の幅員構成

前章において、自転車は道路の左側を自動車と順方向に進行することが走行形態としては適切であると考察したが、これは、自転車の走行空間、すなわち専用のレーンに相当する部分が確保されていることを前提としており、自転車レーンがほとんど整備されていない現実の道路空間においては、車道左側を走行することは必ずしも安全で快適であるとは言えない。そもそも道路構造令においては自転車レーンの規定が存在しないため、車道の横に設けられる路肩部分が自転車の走行空間としての機能を代替するものになると考えられる。そこで、ここでは自転車の走行部分となり得る路肩とその幅員構成について考察する。

滋賀県が管理する道路において路肩の幅員が1m未満であるところは、歩道がない道路で67%、歩道がある道路で83%⁴⁾を占めており、多くの道路において自転車の占有幅を確保できるだけの走行空間がない状況にある。歩道がある場合でその割合が高くなっているのは、歩道が自転車歩行者道として整備されたことに伴い路肩を最小の幅に設定したことが影響していると考えられるが、特に速度の速い自転車は歩道を走行するべきではなく、路肩を含めた車道上が基本的な走行空間になると考えられる。この観点から、ここでは車道上における自動車と自転車の位置関係について検討を進める。

図-7では、路肩の幅員が狭い幅員構成の場合に、図-1で示した占有幅の自転車と、車体幅が車両制限令の最大値に近い大型車が走行する状況を模式的に示している。このような各々の走行部分、すなわち動線が重なった状況でそのまま進行すれば、自転車と自動車が接触することは必至であり、これを避けるためには、自動車は反対車線にはみ出しつつ追い抜くか、減速し自転車に追従して走行するかのいずれかを選択しなくてはならない。この時、仮に自転車が20km/h、自動車が50km/hで進むとすると、両者の速度差は30km/hであり、秒速に換算すると8.3m/s、両者に50mの離隔距離があれば、約6秒後には追いつく計算になる。この自動車が前方の自転車を視認してから追いつくまでの短い時間に、自動車は接触をさけるための判断を行う必要がある。さらにこの時、対向より自動車の接近があれば、自動車同士の速度差は100km/hとなるため、100mの離隔があつたとしても約3秒後にはすれ違いの状態に入ることになる。このため自転車を追い越そうと車線をはみ出した自動車は対向車との接触を回避する必要性が生じ、より一層危険な状況におかれることになる。このような状況を迎えることは、後方が視認できない自転車にとって恐怖であるばかりでなく、自動車にとっても心理的なストレスになると考えられる。

次に、図-8に示した構成は、自転車の占有幅1.0mを路肩に確保した状態である。この状態であれば、自転車の

占有空間は自動車とかぶることなく存在することができるため、感覚的な恐怖感や、自動車の風圧によるふらつき、不意に転倒した際の危険性はあるものの、互いの直進性を保っていれば、物理的に接触する危険性は低い状態であるといえる。さらに右側の図では、小型自動車と並走する場合であり、側方離隔距離はより大きくなる。

図-9では、県道の道路規格としては最大になる車道幅3.25mに1.5mの路肩を加えた場合であり、図-8よりもさらに余裕のある状態であることがわかる。ただし、あまりに路肩部分が広い状態であると、路上駐車や自動二輪車のすり抜けを誘発する恐れがある。以上のことから、最適な幅員構成については、大型車の混入率や沿道状況などの各種指標を基に、十分に検討する必要があると考えられる。

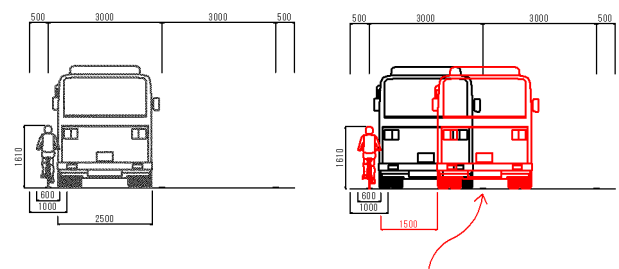


図-7 自転車と自動車の走行部分と追い抜くときの状態

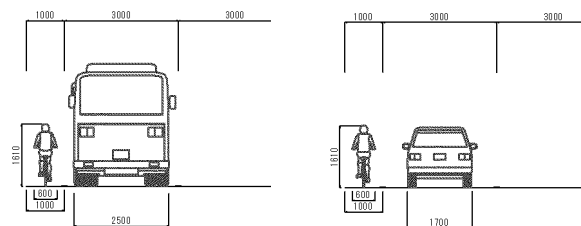


図-8 動線の重ならない走行空間

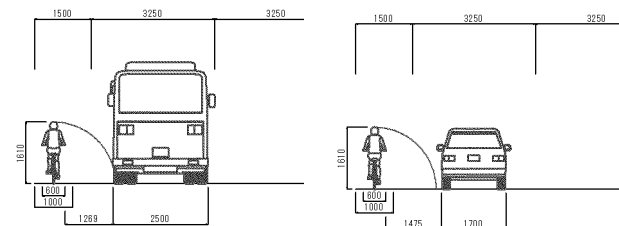


図-9 路肩幅員が大きい走行空間

(2) 自転車走行部分の中間速度帯としての位置づけ

前節の検討より、自転車と自動車が車道上で共存するためには、道路幅員の許す限りにおいてお互いの動線の重ならない通行帯を設けることが望ましいと考える。これは、速度の差が大きいことに起因する衝突などの危険性を排除しようとするものであり、速い速度で移動する自動車と遅い速度で移動する歩行者、そして中間的な速度で移動する自転車の通行部分を分離することを意味す

る。この時の中間的な速度で移動する自転車の通行部分は言葉で表現するならば「中間速度帯」という位置づけになると考えられる。このような走行空間は、位置づけとしては道路交通法における「自転車専用通行帯」に近いと考えられるが、この「自転車専用通行帯」は全ての自転車にその部分を通行する義務が生じるのに対し、「中間速度帯」は一定の速度を持った移動体、すなわち“速い”自転車を想定した走行空間であるといえる。このため、速度が出せない自転車利用者に対しては歩道走行を許容することが現実的と考える。ただし、歩道上を走行する場合は、自転車利用者が加害者になる可能性があるばかりでなく、特に前章の(5)で述べた道路右側の歩道上を自動車の進行方向とは逆向きに走行する場合のように、自身が被害者になる危険性が高まることも十分に認識する必要がある、徹底した徐行義務が求められることになるといえる。

道路の形状や交通の実態により車道上の「中間速度帯」を走行することが不安視されるような場合は、自転車と自動車との分離の方策を検討することも必要になると考えられるが、分離のための構造物を配置するにはさらなる道路幅員が必要となり、またこのことによって走行性を阻害することにもなりかねない。さらに、過度の分離策は互いの存在に対する認識を希薄にし、自動車の走行速度が必要以上に上がってしまうという負の効果をもたらす可能性もある。このため、その可否や方法については十分な検討が必要であると考ええる。

なお、最近の一部の自動車では、自動車に搭載したカメラやセンサー等により、車道上の情報を読み取り、障害物を認識したり、自動でブレーキやハンドル操作を行う安全運転のための運転支援機能がすでに実用化されている。自転車と自動車の動線が重なる走行空間において前方の自転車を避けたりブレーキをかける操作は複雑な情報処理を必要とするためより難易度が高いと考えられるが、動線の重ならない自転車の走行空間が確保された道路であれば、車線の逸脱防止のみを支援するだけでよい、より正確に機能し、車道上を走行する自転車の安全性を向上させる点において効果的な役割を果たすものと考えられる。また、中央線を認識し車線逸脱を防止する機能や対向車との衝突を回避する機能は、例えば路肩部分の幅員を確保し自動車走行部分の幅員を縮小するケースにおいて、車両が従来よりも車道中央寄りを走行することによって生じる正面衝突などの事故のリスクを軽減すると考えられる。こういった先進的な技術の活用により「中間速度帯」がより安全なものになることが期待される。

4. まとめ

以上の検討より、自転車を含む走行形態としては、道路中央を中心に速度の順に並んだ状態が適切であると考えられる。さらに、各個体間の速度差に注意し、道路幅員の許す限りにおいて動線の重ならない走行空間を確保することが望ましい。このときの“速い”自転車の通行部分にあたる走行空間は自動車用でも歩行者用でもない「中間速度帯」として位置づけられる。この「中間速度帯」の幅員構成については、大型車の混入率や事故データの詳細な分析などの各種指標に基づき、今後検討していくべき課題であると考ええる。なお、遅い自転車は徐行義務を徹底することを前提としてある程度自由度のある通行方法を許容することが現実的であると考ええる。

道路空間に余裕がない場合、すなわち現道上での対策を考える場合は、弱者優先の観点から、利用実態を見極めつつ、道路の外側から必要な幅員を確保可能な範囲で設定していくことが妥当と考えられるが、左側走行を原則とした走行形態であれば空間的な無駄が少なく、最小の幅員構成でも一定の空間が確保できるため、暫定的にでも一定の水準で整備率を上げていくことができる。このことは、ネットワークとしての自転車の走行空間を考える際にも有効であると考ええる。さらには、左側走行を原則とする通行方法であれば、ルールがシンプルになり、利用者のルール順守率を押し上げる効果が期待される。このような形で好循環が生まれていけば、走行性を重視する自転車利用者が増え、渋滞緩和や環境対策にも寄与するというさらなる好循環が生じることが期待される。車道上の自転車が十分認知されるようになれば、自動車にとっても速度に配慮した走行が求められることになり、安全性の向上にもつながる。

いずれにしても、空間に制約がある中で複数の道路利用者が空間を共有する以上、どこかに妥協点を見出すことが求められる。走行空間の整備とルールの順守、そして、譲り合いの精神をもって道路を利用することが大切であると考ええる。

参考文献

- 1)総務省統計局：平成12年国勢調査
- 2)滋賀県警察本部：滋賀の交通2013
- 3)社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用
- 4)滋賀県：道路台帳道路現況表