

道路の計画・設計のための 走行サービスに関する実態分析

東京理科大学 助教 葛西 誠

概要：

我が国で導入が図られようとしている性能照査型道路計画・設計であるが、自専道等と比して一般道における照査法の体系化は十分進んでいない。この理由は、照査に必要なトラフィック機能に関する性能曲線、すなわち、ある区間に対して道路構造等が与えられた際に旅行時間がどの程度になるかを予測する関数が未構築であることが一因である。

本研究課題では、まず現時点で構想されている性能照査の方法論を概観し、主として一般道によって構成されるある拠点間の目標旅行時間を達成し得るかを判定するフローを提示する。次に、自由旅行時間に対する遅れを性能指標として位置付け、道路交通センサスを基本として、前述の性能曲線を構築する。特に、交差点による遅れが一般道での旅行速度低下に大きく寄与することから、代表交差点による遅れと、それ以外のマイナー信号交差点による遅れを推定する。補完的分析として、面的な性能評価を想定し市区町村単位での平均旅行速度を信号交差点密度等により推定する性能曲線も併せて提示する。

キーワード：性能照査型道路計画・設計、一般道、トラフィック機能、旅行時間、道路交通センサス

1. はじめに

道路構造に対して発揮される性能がどの程度のものであるか、予め予測した上で道路計画・設計を行なおうとする考え方を、性能照査型道路計画・設計と呼ぶ¹⁾。性能照査型道路計画・設計の導入に当たっては、一般道の交通性能に対して大きく影響を及ぼす交差点での停止遅れ、沿道条件等における遅れを考慮した照査のフローと、その照査に用いる性能曲線²⁾が必要となる。ここで述べる性能曲線とは、道路線形や道路構造を入力として与えたときに、旅行速度等道路の機能にかかわる性能指標の数値を出力として返す関数を意味する²⁾。

本論文は、一般道にて結ばれるある2拠点間に対して性能照査を行なう場面を想定する。ここでの性能とはトラフィック機能を指すものとし、この性能は旅行時間で計測されるとする。ある拠点間の旅行時間が目標とする旅行時間を達成しているかを判定するフローと性能曲線を提案する。なお一般道における旅行時間を大きく左右するのは交差点部、沿道アクセス等に起因する遅れであることは想像に難くない。したがって、これらの遅れを可能な限り正確に、しかし煩雑にならないように推計できるフローと性能曲線が必要である。

本論文では、平成22年道路交通センサスデータ³⁾を利用して推定する試みを紹介する。大別して、道路交通センサスデータの基本調査区間単位での分析と、市町村単位で集計された分析の2種類を試行する。いずれも、一般道走行時に生じる「遅れ」を3種類に分類することで、推定を可能とする工夫が凝らされている。

2. 性能照査型道路計画・設計の考え方

(1) 性能照査の基本的考え方

現在、体系化が図られつつある性能照査型計画・設計の全体像および自専道等も含めた照査フローについては文献^{4),5)}に譲るが、以下に照査の考え方を簡単に要約しておく。

基本的には、上位計画として位置付けられるネットワーク計画があり、拠点間の目標所要時間が与えられる。これに対して、現状では目標旅行時間を達成していない場合に道路改良やバイパス(新道)整備によって目標旅行時間を達成し得るかを検討する。この際に、改良代替案の道路線形や道路構造に対して、旅行時間がどの程度になるかを予測できる必要がある。

(2) 需要を扱ひの相違による2種類の性能照査

一般道に限らず、現時点で想定される性能照査フローにおいては、1) 潜在性能の照査、2) 設計時間交通量を考慮した照査の2種類の照査を行なう。

a) 潜在性能の照査

「潜在性能の照査」は、例えば静岡30構想⁶⁾のように上位計画が所与として与えられたとき、これを実現するような道路ネットワーク計画自体が成立し得るかどうかが、より具体的には、拠点間の目標旅行時間を達成できる道路線形や幾何構造を担保できるかを検討するためのものである。

仮に自由走行できる場合でも、目標所要時間を達成できない場合は、道路構造の変更、バイパスによる短絡、場合によっては上位計画そのものを変更する必要がある。

b) 設計時間交通量を考慮した照査

「潜在性能の照査」で目標所要時間が達成されていても、設計時間交通量を考慮した照査を行なった場合に、所要時間が目標旅行時間を超過することがあり得る。主として、交通量の増大による旅行速度の増加、代表交差点における交通量の増大による(期待)停止遅れ時間の増大、によって所要時間が増加する。設計時間交通量を考慮した照査は、設計交通量等を用いて、単路部、交差点、沿道状況の遅れを算出し、ピーク時等に目標旅行時間が達成できるか照査を行うものである。

この照査の際に用いる需要をどのようにするかは十分議論されるべきである。仮に、都市間高速道路の重交通量区間のように約2km間隔で車両感知器が設置されていれば、年間8760時間の需要変動パターンを設定することも不可能ではない⁷⁾。しかし一般道の場合には、常時観測地点が少なく、年間を通じた需要パターンを設定することは困難な場合が多いと想定される。また、仮に年間8760時間通じた需要を設定して照査をした場合に、年間のうち数時間のみ容量を需要を超過することを許すのか、一切の超過を認めないのか、といった性能目標についての考え方はまだ完全に整理がついていない。今後プローブデータが潤沢に取得され活用可能になれば、データに係る制約が大幅に緩和することも期待されるが、現段階では当面の措置として、ある特定日のピーク時間帯の交通量を、照査のための交通需要すなわち設計時間交通量として設定することとする。

3. 区間単位の性能照査のための性能曲線

本章では、前章で述べた代表交差点による遅れ、および、沿道条件等による遅れを定式化し、性能曲線として用いることができるよう準備を行なう。

(1) 遅れと旅行時間の定義

まず、「遅れ」と「旅行時間」を以下のように定義する。

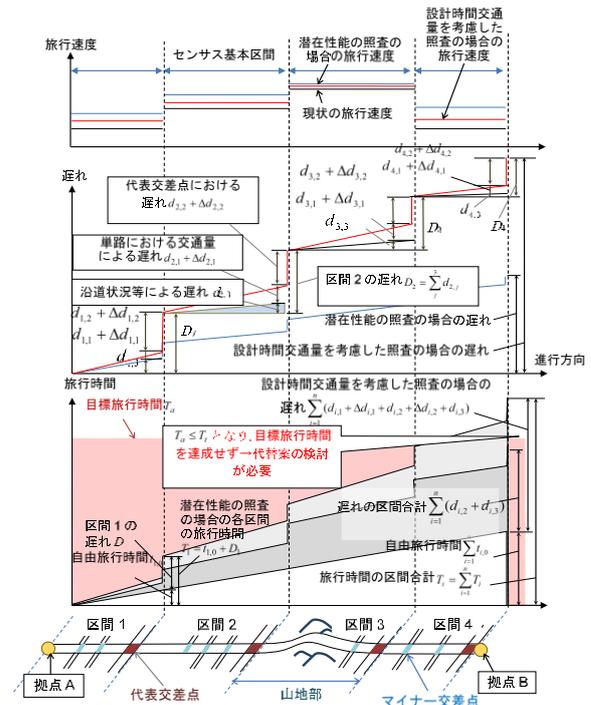


図1 拠点間の旅行時間照査の概念図

道路交通センサ基本区間*i* に対して、以下の「遅れ」、「旅行時間」を定義する。

$$D_i = d_{i,1} + \Delta d_{i,1} + d_{i,2} + \Delta d_{i,2} + d_{i,3} + \Delta d_{i,3}, \quad (1)$$

ここに、 D_i : 区間*i* の総遅れ、 $d_{i,1}$: 単路部における交通量による遅れ (恒等的に 0)、 $\Delta d_{i,1}$: 単路部における交通量の増分による遅れ、 $d_{i,2}$: 代表交差点における遅れ、 $\Delta d_{i,2}$: 代表交差点における交通量の増分による遅れ、 $d_{i,3}$: 沿道状況等における遅れ、 $\Delta d_{i,3}$: 沿道状況等における交通量の増分による遅れ (恒等的に 0)。

$$T_i = t_{i,0} + t_{i,1} + \Delta t_{i,1} + t_{i,2} + \Delta t_{i,2} + t_{i,3} + \Delta t_{i,3}, \quad (2)$$

ここに、 T_i : 区間*i* の総旅行時間、 $t_{i,0}$: 自由走行時の旅行時間、 $t_{i,1}$: 単路部における交通量による旅行時間の増分、 $\Delta t_{i,1}$: 単路部における交通量の増分による旅行時間の増分、 $t_{i,2}$: 代表交差点における旅行時間の増分、 $\Delta t_{i,2}$: 代表交差点における交通量の増分による旅行時間の増分、 $t_{i,3}$: 沿道状況等における旅行時間の増分、 $\Delta t_{i,3}$: 沿道状況等における交通量の増分による旅行時間の増分。

複数の区間から成り立つある拠点間に対して、このようにして定義された遅れおよび旅行時間がどのように積み上がるかを示したのが図1である。図1では、「潜在性能の照査」における遅れと「設計時間交通量を考慮した照査」の2種類の旅行時間と、自由旅行速度からの遅れを描いてある。一般道では代表交差点における遅れ、

沿道条件等による遅れが大きいことを模式的に示している。また、潜在性能の照査では交通需要を0とみなすが、設計時間交通量を考慮した遅れでは交通量の増分による遅れが生じ、単路の交通量の増分による遅れと、代表交差点における交通量の増分による遅れが増加する。

このうち、単路の交通量による遅れ、および単路の交通量の増分による遅れは、アクセスコントロールされている自専道等による知見⁹⁾を暫定的に参照することとし、本研究では特に扱わない。以降の分析では、代表交差点遅れや沿道条件等による遅れに比べて十分に小さいと仮定し、単路の交通量の増分による遅れは0とみなすこととする。

(2) 代表交差点における遅れ

代表交差点における遅れは、Webster⁹⁾の遅れ式によって推定するものとする。Webster 式のうち、第3項はシミュレーション等による補正項であるが、微小であるとしてここでは無視して扱い、以下に基づいて代表交差点における平均遅れ時間を設定する：

$$w = \frac{(1-g)^2}{2(1-\rho)} C + \frac{x}{2S(g-\rho)} \quad (3)$$

ここに、 S ：飽和交通流率、 q ：流入交通量、 $\rho (= q/S)$ ：

交差点流入部の需要率、 R ：その交通が当面する赤信号時間長（ロス時間を含む）、 C ：サイクル長、

$g \left(= \frac{G}{C} = \frac{C-R}{C} \right)$ ：信号スプリット。

(3) 沿道条件等による遅れ

単路部の沿道状況等による遅れは、主として信号交差点（代表交差点を除く、いわゆるマイナー交差点）による停止遅れ、無信号交差点による停止遅れ、沿道施設への出入り交通による影響、山地部では平面線形や縦断線形による遅れを含むものとする。

沿道状況等による遅れは、その道路の需要が十分少ない状態で最大限発揮できるはずの性能を表すと仮定し、交通需要の大小に拘わらず、区間毎に一定の値をとるものとする。

分析には平成22年道路交通センサスデータを用いる。自由走行時の旅行時間は指定最高速度で走行した場合の旅行時間と仮定する。ここから、代表交差点における遅れを除いた遅れが沿道条件等による遅れに相当する。

このため、まず代表交差点における遅れを見積もる必要があるが、この際交差点流入部の需要を与えなければならない。1) 交通調査基本区間における旅行時間の短い方向を、昼間12時間平均旅行速度を用いて求める。2) 1) から、Webster の遅れ式を用いて代表交差点における停

表1 重回帰分析にあたっての抽出条件

センサス調査項目	抽出条件	備考（排除した影響要因）
道路種別	高速自動車国道および都市高速道路を除く	走りにくさ
改良済み区間延長率	100%	
付加車線及び登坂車線設置箇所の有無	設置なし	縦断勾配
軌道の有無	軌道なし	路面電車等
鉄道との平面交差点の設置箇所の有無	平面交差点設置箇所なし	踏切待ち

止遅れ時間を除去する。3) 残りの遅れが、代表交差点以外の沿道条件等から影響を受けるものとし、以下これを「沿道条件等による遅れ」とする。2)において交差点流入の代表交差点の遅れを求める際に、青時間比および流入交通量は、道路交通センサスの値を用いる。このとき流入交通量は、昼間12時間交通量の片方向あたりの値とする。一方、代表交差点のサイクル長は、仮に150秒(2分30秒)とする。また、飽和交通流率は、全て直進車両(2000台/h/車線)と仮定し、車線数との積によって設定する。

a) 主成分分析による沿道条件等による遅れの影響要因分析

予備的検討として遅れに与える影響と影響要因相互の関係について、全国の基本区間データを用いて主成分分析により基礎的考察を行う。紙面の都合上詳細は割愛するが、代表交差点以外の信号交差点密度が、幅員や歩道設置率等横断面構成と深い関係があることが示唆される。すなわち、信号交差点密度を、沿道条件等による遅れを代表的する変量とみなせることが示唆されている。

b) 沿道条件等による遅れを目的変数とした重回帰分析

沿道条件等による遅れが、各種横断面構成や信号交差点密度を説明変数として説明できるかを、重回帰分析にて確認する。この際、表1に示す抽出条件を設け、備考欄に示す要因を含むおそれのある区間データを排除する。

説明変数として用いる項目は以下の通りである：道路部幅員、車道部幅員、車道幅員、中央帯幅員、歩道幅員上り^{※1)}、自転車道幅員上り^{※1)}、停車帯等幅員上り^{※1)}、歩道設置率、自転車歩行者道設置率、自転車道設置率、自転車レーン設置率、両側歩道設置率、両側自転車歩行者道設置率、両側自転車道設置率、両側自転車レーン設置率、歩道代表幅員、自転車道代表幅員、バス路線延長率、信号交差点密度、無信号交差点密度、右折レーンまたは右折禁止^{※2)}、区間全体が物理的分離^{※3)}。

なお、注の意味は次の通りである。※1：上下2方向のうち、暫定的に上り方向を用いる。※2：代表交差点において右折レーンまたは右折禁止の場合1を、そうでない場合は0をとるダミー変数。※3：中央分離帯が物理的に分離されており、かつ、区間全体が分離されている場合1、それ以外0をとるダミー変数。

いくつかの試行錯誤の後、区間長が短いデータは偶発的な遅れの影響を強く受けている可能性があることが示唆されたため、区間長0.5km以上、区間長1.0km以上のデータのみ用いた重回帰モデルの2種類の検討結果があるが、紙面が限られているため後者の結果を示す(表2)。

自由度調整済み決定係数は必ずしも高くはないので、ここでの結果は参考としてみなののが適切と考えられる。信号交差点密度が沿道条件等による遅れを増加させる方向にはたらき、かつ高度に有意な変数である。この他無信号交差点密度およびバス路線延長率も有意な変数であり、直観に合致する傾向である。幅員等の諸変数が、沿道条件等による遅れを増加させる方向に寄与する傾向と推定されていることは解釈の難しい結果であるが、決定係数が高くないことも勘案してこれ以上の考察はしない。

c) 信号交差点密度と沿道条件等による遅れの関係の定式化

以上を受け、実用上の観点から、信号交差点密度と遅れの関係のみを示す回帰式を推定する。これはいわゆる狭い意味での性能曲線に該当し、信号交差点密度の変化によって旅行速度がどのように変化するか予測できる。抽出条件等分析上の仮定の違いによっていくつかの結果が得られているが、概要版では代表的な1つの結果を示す。

表2 沿道条件等による遅れを目的変数とした重回帰式

沿道条件等による遅れを目的変数とした重回帰モデル (区間距離1.0km以上のデータのみ使用)		
説明変数	偏回帰係数	t 値
車道幅員[m]	0.422	5.682
歩道幅員上り[m]	-0.725	-1.734
自転車道幅員上り[m]	6.541	2.103
停車帯等幅員上り[m]	1.181	1.790
自転車歩行者道設置率[%]	-0.025	-2.066
両側歩道設置率[%]	0.145	8.679
歩道代表幅員[m]	1.610	3.652
バス路線延長率[%]	0.031	3.070
信号交差点密度[箇所/km]	13.909	42.306
無信号交差点密度[箇所/km]	0.220	1.770
定数項	-20.769	-13.970
自由度調整済み決定係数	0.384	
サンプル数	6937	

表3に示す抽出条件をみたま区間について、信号交差点密度と沿道条件等による遅れとの関係を示したのが図2である。信号交差点密度が大きくなるほど、単位距離当たりの沿道条件等による遅れが大きくなる傾向がみられる。これをy軸上に頂点があるような2次曲線にて回帰すると、図2中に示すような回帰式が得られる。

4. 面的な性能照査に資する性能曲線推定の試み

(1) 面的な性能照査のねらい

拠点間の目標旅行時間の照査は、比較的長いトリップを想定している。例えば業務目的における県庁所在地とある市町村間の移動に相当する。一方で、通勤目的や私事目的のトリップの中には市町村圏内で閉じることも想定される。このような場合、拠点間としてのODを明示して目標旅行時間を達成するか否かの形式の照査が行ないにくいのも事実である。市町村内である程度沿道状況や道路構造が均一であることを仮定すれば、沿道状況や道路構造がどのようにエリア内全路線の空間平均速度に影響

表3 信号交差点密度と沿道条件等による遅れとの関係の分析の際に設定する抽出条件

センサ調査項目	抽出条件	備考(排除した影響要因)
道路種別	国道, 地方主要道	歩行者自転車の影響
指定最高速度	50km/h 以上	走りやすさ
改良済み区間延長率	100%	
車道幅員	3.0m 以上	渋滞時データの混入を避ける
混雑度	0.8 以下	
区間延長	2km 以上	偶発的な停止の影響
付加車線及び登坂車線設置箇所の有無	設置なし	縦断勾配
両側自転車歩行者道設置延長率	100%	歩行者/自転車
軌道の有無	軌道なし	路面電車等
右折専用車線の有無	右折専用車線あり, 右折禁止	右折待ち行列
中央分離帯 種類	物理的分離	右折による沿道アクセス
中央分離帯 設置状況	区間全体に設置	踏切待ち
鉄道との平面交差箇所の有無	平面交差箇所なし	

を及ぼしているか検討することができる。

性能曲線を定めようとする技術的な視点としては、前章までのような区間単位での分析では、偶発的な停止遅れや方向別旅行時間の違いなど、各種のランダム誤差が多く混入していることが想定される。一方で、面的に集計することは、長い区間を扱うことによるランダム誤差相互の打消しや、区間単位での分析では無視している、系統制御等が原因と考えられる代表交差点間の相互作用、マイナー信号交差点間の相互作用等、各種の相互作用を内包した形でデータ化されることが期待できる。

(2) 面的なデータ整備の例

表4に示すような、3区間を有するX市を考える。表中に挙げられている項目は、前章の重回帰分析等を参考に、沿道条件等に影響を及ぼすと考えられる変数を選定してある。

これらを、X市を代表するような1つのサンプルへと縮約することを考える。例に示すように、X市空間平均速度は、昼間非混雑時旅行速度から所要時間に変換し総和をとった後に道路総延長をこれで除し、空間平均速度とする（需要がほとんど0みなせる状態を想定し、交通

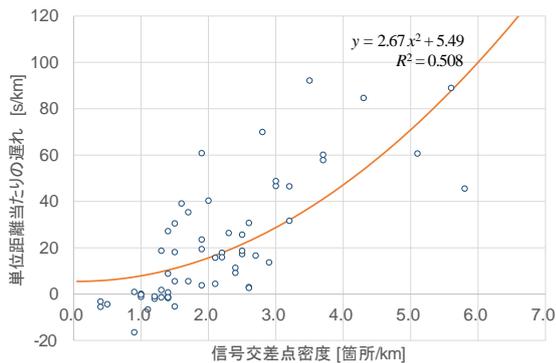


図2 4.(1)の抽出条件の下での信号交差点密度と単位距離あたり沿道条件等による遅れの関係

量による加重平均は行わないこととする)。歩道設置延長率、平均車線数、信号交差点密度、無信号交差点密度、需要を考慮しない場合の代表交差点における平均遅れは、区間長で重み付けされた平均値として求める。

(3) 市区町村を単位とした重回帰分析

第3章では遅れ時間を算出し、目的変数を遅れ時間としていたが、直観的に理解しやすい旅行速度をそのまま用いることとする。

何回かの試行錯誤の結果、全ての説明変数が有意であった重回帰式の推定結果を表5に示す。信号交差点密度は高度に有意な変数であることがわかる。

これを受けて、市区町村内信号交差点密度と、市区町村内の単位距離あたり平均旅行時間の関係のみを図示してみよう(図3)。市区町村内の単位距離あたり平均旅行時間は、総旅行時間から代表交差点における総遅れを引き、単位当たり換算したものである。両者には明確な相関がみられ、線形回帰すると図中に示すような回帰式

表5 市区町村を単位とし平均旅行速度を目的変数として推定した重回帰モデル

	偏回帰係数	t 値
平均中央帯幅員[m]	-0.410	-3.650
平均車線数[車線]	-1.094	-3.732
信号交差点密度[箇所/km]	-3.635	-21.098
無信号交差点密度[箇所/km]	-0.788	-9.365
代表交差点における平均遅れ[秒/km]	-0.110	-4.078
定数項	54.190	49.886
自由度調整済み決定係数	0.541	
サンプル数	1145	

表4 市町村内平均旅行速度および道路構造等の変数を区間長重付き平均をとる手続きの例

X市	道路延長[km]	昼間非混雑時旅行速度[km/h]	旅行時間[s]	歩道設置率[%]	車線数[車線]	信号交差点密度[箇所/km]	無信号交差点密度[箇所/km]	需要を考慮しない場合の代表交差点における平均遅れ[秒/km]
区間1	0.9	45.4	71.4	100.0	4.0	0.9	5.0	11.4
区間2	1.8	41.1	157.7	84.7	2.0	1.8	1.8	14.5
区間3	0.7	38.9	64.8	69.1	4.0	1.2	5.0	12.6
	道路総延長[km]	空間平均旅行速度[km/h]	総旅行時間[s]	歩道設置延長率[%]	平均車線数[車線]	信号交差点密度[箇所/km]	無信号交差点密度[箇所/km]	需要を考慮しない場合の代表交差点における平均遅れ[秒/km]
X市	3.4	41.7	293.8	85.5	2.9	1.4	3.3	13.3

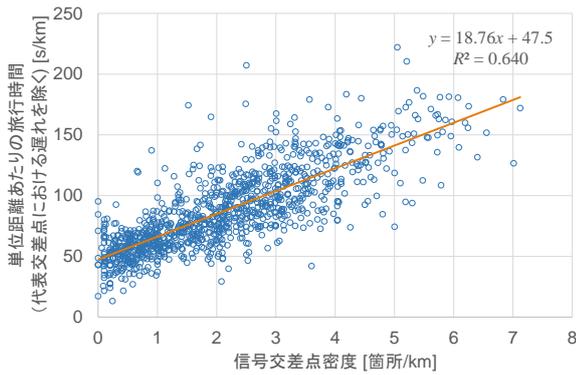


図3 市区町村単位に縮約された平均旅行速度と市区町村内信号交差点密度との関係

が得られる。第3章にて示した信号交差点密度と遅れとの関係(図2)に比べて決定係数は高い。面的なデータ処理を施すことによって、交差点間の相互作用等、ランダム誤差を相互に打ち消す作用が働いている可能性があると考えられる。

5. おわりに

本研究は、今後普及が期待される性能照査型道路計画・設計において、一般道の性能照査フローの原案と、そのフローの中で根幹をなす性能曲線、すなわち道路構造等によってどのような旅行時間となるか推計できる仕組みを定めようとする試みであった。以下、得られた成果をまとめる。

- ・上位計画によってある拠点間の目標旅行時間が与えられた場合に、この目標旅行時間が達成されるか否かを検討するフローを提案した。一般道の遅れを、単路における交通量による遅れ、代表交差点における遅れ、沿道条件等による遅れ、に3種類に分類することで、見通しよく遅れを推計できるようにした。

- ・このうち、沿道状況等における遅れは、信号交差点密度による遅れによって説明できることを示した。

- ・比較的長距離の拠点間を対象とした区間単位の性能照査を補完する意味で、面的な性能照査法の試案を提示した。ここでは、仮に市町村内でほぼ均一とみなせる道路構造であってかつ交通状況が実現していると仮定し、市町村内の空間平均旅行速度が、区間長で重み付き平均をとった幅員等によって説明される重回帰モデルを構築した。さらに面的な空間平均旅行速度が面的な交差点密度によって統計的に良く説明されることを示し、性能曲線として示した。

これらの成果は、いずれも道路交通センサスという時空間的に限定された、あるいは交通量として集計されたデータを用いている。このため、性能曲線等分析結果の活用には、データに係る誤差が含まれていることに留意が必要である。分析上も、現段階で知見が限られているが故に多くの仮定を設ける必要があった。山地部における遅れの見知¹⁰⁾との整合も議論が必要である。

いずれにしても、ここで展開した方法は、性能照査型道路計画・設計の一般道における普及のきっかけとしては十分価値のあるものと考えられる。今後、実展開を踏まえた照査フローや性能曲線のブラッシュアップは当然継続してなされていくべきものである。

参考文献

- 1) 中村英樹, 大口敬: -Editorial- 性能照査型道路計画設計の導入に向けて, 土木学会論文集 D3, Vol.67, No.3, pp.195-202, 2011.
- 2) 内海泰輔, 浜岡秀勝, 中村英樹: 往復分離2車線自専道の速度性能曲線の定式化, 土木学会論文集 D3, Vol.67, No.3, pp.261-269, 2011.
- 3) 交通工学研究会: 平成22年度道路交通センサス一般交通量調査, 2012.
- 4) 中村英樹, 下川澄雄, 大口敬, 野中康弘: "コンパクト+ネットワーク"型国土構造に向けての道路機能の再生法: 性能照査型道路計画設計の意義と概要, 土木計画学研究・講演集, Vol.51, 2015. (発表予定)
- 5) 野中康弘, 泉典宏, 下川澄雄, 大口敬, 中村英樹: 道路計画設計における実用的な性能照査実施方法の提案, Vol.51, 2015. (発表予定)
- 6) 静岡県公式HP: <http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-210/road-03.html> (2015年4月21日閲覧)
- 7) 内海泰輔, 中村英樹, 渡辺将光: 性能照査型道路計画設計のための年間を通じた時間交通需要変動推計手法の構築, 土木計画学研究・論文集, Vol.24, pp.825-834, 2007.
- 8) 内海泰輔, 浜岡秀勝, 中村英樹: 往復分離2車線自専道の速度性能曲線の定式化, 土木学会論文集 D3, Vol.67, No.3, pp.261-269, 2011.
- 9) Webster, F. V.: Traffic Signal Settings, Road Research Technical Paper, No.39, Her Majesty's Stationery Office, London, 1958.
- 10) 下川澄雄, 森田純之, 小山田直弥: 一般道路の道路構造が旅行速度に及ぼす影響に関する実証的分析, 交通工学論文集, Vol.1, No.2, pp.A_19-A_25, 2015.