道路交通のサービスの質と評価指標の構造に関する一考察 -指標に関する研究レビューと概念整理を通して-

井料　美帆[1]・張　馨[2]・吉岡　慶祐[3]・青山　恵里[4]・柿元　祐史[5]

1 正会員　名古屋大学大学院准教授　環境学研究科（〒464-8603 名古屋市千種区不老町 C1-2(651)）
E-mail: iryo@nagoya-u.jp
2 正会員　名古屋大学大学院講師　環境学研究科（〒464-8603 名古屋市千種区不老町 C1-2(651)）
E-mail: zhang@genv.nagoya-u.ac.jp
3 正会員　日本大学助教　理工学部交通システム工学科（〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1 744）
E-mail: yoshioka.keisuke@nihon-u.ac.jp
4 正会員　日本大学助手　理工学部交通システム工学科（〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1 745A）
E-mail:aoyama.eri@nihon-u.ac.jp

5正会員　（株）オリエンタルコンサルタンツ　東北支社
（〒980-0811 仙台市青葉区一番町 4 丁目 6-1 仙台第一生命タワービルディング）
E-mail:kakimoto@oriconsul.com

道路ネットワークは単に交通容量を充足するだけでなく，利用者が認識する交通サービスの質を向上させるよう計画することが重要である．交通サービスの質を代表する指標として，これまでに旅行時間・旅行速度が検討されているが，本来道路の交通サービスの質はより広範な概念であり，多様なサービスが含まれるべきである．本稿では，交通サービスの質と，それを定量的に評価するサービス指標，意思決定に用いられるサービス水準（Level of service）の関係について，国内外の文献をもとに整理を行った．機動性に関しては，多くの文献にてサービス指標の検討がなされている一方，これらのサービス指標が我が国の交通サービスの質評価には十分反映されていないことを示した．また一部の指標は，複数の交通サービスの質を代表できる可能性があることが示された．

Key Words: *Level of Service, Quality of Service, user perception, service measure*

1. はじめに

(1) 背景と目的

我が国では，従来，交通容量を確保することに主眼を置いた需要追随型の道路整備がなされてきた．これに対し，道路本来の目標性能に応じた道路ネットワーク計画を進めることが重要との観点から，性能照査型の道路計画・設計についての研究が進められてきており，（一社）交通工学研究会の「機能階層型道路ネットワーク計画のためのガイドライン(案)[1]」にまとめられるように，一定の知見が整理されてきている．これらの研究の多くは，自動車の移動機能に着目したもので，移動機能を代表する指標としての旅行速度を対象としたものである．

しかし，運転者は平均的な旅行速度のみならず，交通の安全性や走行のしやすさなど，様々な観点から道路のサービスの質を認識している．道路本来の目標性能を検討するためには，これら様々な観点を総合的に検討・整理することが必要といえる．また，道路の種類・階層によっても，重要視するサービスの質が異なる．さらに，自転車や歩行者，電動モビリティなどの多様な道路利用者にまで目を向けると，今後はさらに多様な交通サービスの質を検討していくことが求められている．

本論文は，上記の状況を踏まえた第一段階として，自動車の移動機能のサービスの質とそれを評価する指標の概念整理を目的とする．具体的には，Highway Capacity Manual をはじめとする様々な道路のサービス水準・指標に関する研究のレビューを通じて，道路のサービスの質の種類と，それを定量評価するための指標との関係性を

移動機能の観点から整理することを目的とする．

なお，移動機能は交通状況により変化するものであり，対象となる交通需要の設定によって評価結果は大きく異なる．すなわち，設計交通量の設定方法や，需要変動による時間信頼性の評価も重要な視点となる．本稿では，あくまで与えられた交通需要に対する評価手法についてレビューを行っており，交通需要変動に起因する評価については本稿では扱わない．

(2) 日本におけるサービスの質の考慮

我が国ではこれまで交通容量（あるいは交通容量をベースとした設計基準交通量）が道路の計画設計に用いられ，道路の期待される機能に応じた目標サービスを念頭として交通流の質を評価することは必ずしも考慮されていなかった．日本の道路の交通容量マニュアルである「道路の交通容量 [2]」では，計画・設計段階においては計画水準が，運用段階においては混雑度が，それぞれ道路のサービスの質に相当する代表的な指標として使用されている．

同書では，「計画水準」を「道路を計画・設計する場合に，その道路が提供すべきサービスの質の程度のこと」と定義している．しかし計画水準は，可能交通容量から設計交通容量を求める際の低減率として使用されており，いわば交通需要の変動の影響を交通容量の安全率として考慮するといった意味合いである．

また，混雑度は道路の運用状態を表す指標として，道路改良事業等の必要性の判断等にも広く使われている．しかし，混雑度は昼間 12 時間交通量をもとにした指標であり，一日のうちの昼間の状況を総合的に評価しているが，朝夕の混雑時など，時間帯による需要の変動は考慮していない．

このように，計画水準や混雑度は，実現される交通運用状態の中で，利用者の認識に対してどの程度のサービスの質が提供されているかを直接的に評価する指標であるとは言い難い．サービスの評価に関するこのような諸課題は，これまでにも多くの研究者や実務者によって指摘がされている [3),4),5)]．これに対して，サービス水準の評価方法や望ましい指標の考え方について提起がされている研究 [6),7),8),9),10)]や，サービスに与える影響要因や利用者認識に関する研究（2 章にて詳述）が進められている．

また，交通工学研究会の基幹型研究課題「道路の交通容量とサービスの質に関する研究」[1),11)]では，性能照査型道路計画設計の実務への適用に向けた議論・検討が継続的に進められている．この中でもサービスの質についての議論はなされているものの，さまざまな利用者認識を踏まえた具体的な指標の設定には至るには，まだまだ議論が必要である．

2. HCM におけるサービス水準の評価

(1) サービスに関する用語・概念の整理

Highway Capacity Manual では，道路交通が提供するサービスの質（Quality of service：以降，「交通サービスの質」と記す）をより広い概念として捉えている．2022 年に発刊された最新の第 7 版 [12)]の中では，交通サービスの質を「利用者からみて，交通機関やサービスがどの程度うまく機能しているかを表すもの(Quality of service describes how well a transportation facility or service operates from a traveler's perspective.)」と定義している．つまり，交通サービスの質は，利用者認識に基づくものであり，抽象的で幅広い概念として扱っている．そして，利用者が認識する交通サービスの質には，旅行時間，停止回数，時間信頼性，機動性（例：車線変更のしやすさ，追従時間割合），快適さ（例：自転車や歩行者との相互作用や空間分離，舗装の質），安全性，景観といった要素を含むものとして捉えている．

次に，交通サービスの質を表す指標であるサービス水準（Level of service：以降，「LOS」と記す）は，「交通サービスの質を表す定量的な指標（LOS is a quantitative stratification of a performance measure or measures representing quality of service）」と定義している．加えて，「利用者が認識する施設やサービスの質に対する，複雑な数値的パフォーマンス結果を単純な A-F に区分して示すものであり，LOS の結果は施設性能の複雑さの多くを隠していることを理解しなければならない」との説明がされている．したがって，LOS は事業に対する意思決定をするために使われる指標であり，交通サービスの質とは全く異なる概念である．

ところで，交通サービスの質は，HCM では第 4 版（HCM 2000）から定義された用語である．第 4 版までは，LOS がサービス水準を示す概念として広い意味で用いられてきたが，1990 年代から 2000 年代にかけて，サービスの良し悪しは利用者の認識に基づくべきものであり，それを規定する要因は利用者によって様々であるとの研究成果や議論が数多く見られるようになった [13),14)]．第 5 版（HCM 2010）からは，これらの研究成果を踏まえて利用者認識を LOS の評価に取り入れる手法が活発に議論され [15),16)]，とくに，歩行者や自転車に対する LOS の評価手法が大きく変わった．

交通サービスの質と LOS を結びつける概念として，サービス指標（Service measure：以降，「サービス指標」と記す）が存在する．様々な交通サービスの質に対して，LOS として 1 つの評価水準を決定するために，交通サービスの質を定量的に示した指標である．なお，サービス指標は，第 4 版以前は円滑性指標（Measure of effectiveness）と呼ばれていた．しかし前述のように，交通サービスの

質は移動機能にとどまるものではなく，円滑性指標（Measure of effectiveness）を含むより幅広い指標の概念として，2000 年に発刊された第 4 版（HCM 2000）以降はサービス指標(Service measure)と呼ばれるようになった．

これらの交通サービスの質とサービス指標，LOS の関係性を示すと**図-1** のイメージとなる．つまり，利用者が認識する交通サービスの質には様々な要素が存在する中で，LOS を決定する際においては，それらの要素を集約し，定量化するための何らかのサービス指標が選択され，そのサービス指標をもとに 6 段階の LOS に区分される．ちなみに，交通サービスの質は広い概念であることは前述のとおりであるが，HCM では主に円滑性に関わる交通サービスの質を対象にしている．なお，**図-1** は，高速道路区間（Basic freeway segment）を評価する場合の例を示したものであり，サービス指標として定量化される交通サービスの質や LOS の決定方法は，評価対象とする道路の構成要素や交通モードによって異なる．これについては，次節において詳しく述べる．

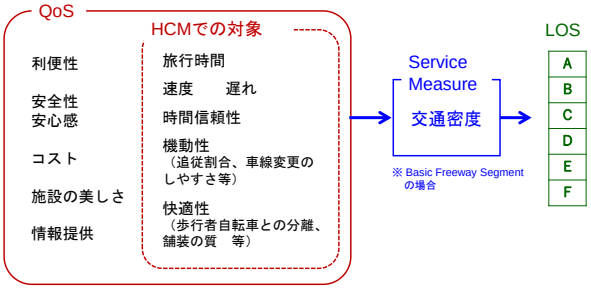


図-1　交通サービスの質・サービス指標・LOS の関係
（高速道路区間の場合）

表-1　道路システムの要素・交通モードごとのサービス指標
（HCM 第 7 版 Chapter8 より作成）

道路システムの要素	自動車	歩行者	自転車	トランジット
高速道路ファシリティ	交通密度	－	－	－
高速道路区間	交通密度	－	－	－
織り込み区間	交通密度	－	－	－
ランプ部	交通密度	－	－	－
多車線道路	交通密度	－	LOS スコア	－
往復 2 車線道路	追従車両割合	－	LOS スコア	－
都市内街路ファシリティ	速度	LOS スコア	LOS スコア	LOS スコア
都市内街路区間	速度	LOS スコア	LOS スコア	LOS スコア
信号交差点	遅れ	LOS スコア	LOS スコア	－
2 方向一時停止交差点	遅れ	横断満足度	－	－
全方向一時停止交差点	遅れ	－	－	－
ラウンドアバウト	遅れ	－	－	－
インターチェンジ	遅れ	－	－	－
代替交差点	遅れ	－	－	－
歩行者・自転車ファシリティ	－	道路空間・イベント	LOS スコア	

(2)　道路システムの要素・交通モード別の評価体系

道路利用者が認識するサービスの質は，評価の対象となる道路の構成要素や交通モードに応じて異なるはずである．HCM 第 7 版では，道路システムの要素を 15 種類，交通モードを 4 種類に分類し，**表-1** に示すように，それぞれに応じて LOS の決定に用いるサービス指標を設定している．

道路システムの要素とは，道路の構成要素のうち，評価の対象や範囲を示すものである．例えば，ランプ部や信号交差点などの地点(point)単位での評価，高速道路や都市内街路の区間(segment)単位での評価のほか，複数の地点や区間を統合したファシリティ(facility)として評価する場合もある．

例えば，高速道路区間やランプ部，多車線道路の自動車交通に対しては，交通密度が唯一のサービス指標として使用される．**図-1** に例示した高速道路区間の場合，第 7 版の説明によると，交通密度，平均旅行速度，交通量交通容量比が性能を特徴づける指標であるとしながらも，速度は交通量レベルが低い場合において感度が低いこと，交通量交通容量比は利用者の認識が反映されにくいといった理由から，交通密度をサービス指標としている．現に，**図-2** に示すように，交通密度を算出する過程において，車線幅員等の幾何構造条件や大型車混入率等の交通条件をもとに，速度や交通容量を算出しているが，最終的には交通密度をもとに LOS が決定される．このことからも，交通密度は様々な要因を集約した代表的な指標として扱われていることが分かる．

ここで**表-2** に示すように，過去の HCM において LOS の決定に用いられたサービス指標を振り返る．HCM 第 2

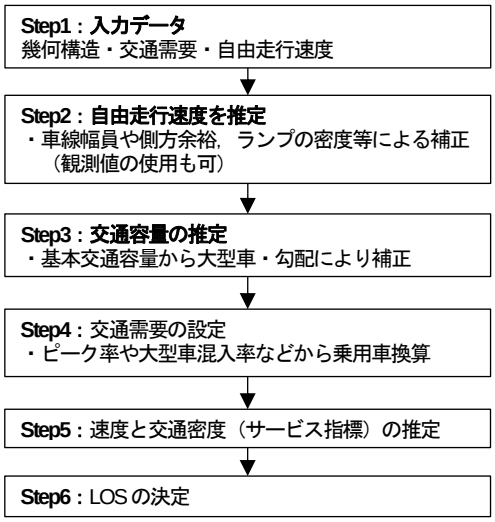


図-2　高速道路区間の LOS 決定手順
（HCM 第 7 版をもとに一部簡略化して作成）

版では，高速道路区間の LOS の決定において，交通量交通容量比と速度がサービス指標とされていた．しかし，1985 年の第 3 版からは，交通密度がサービス指標となっている．第 3 版は，LOS のコンセプトに初めて利用者の認識について触れられており，高速道路区間に関しては，

運転の自由度や車間距離などの速度以外の要素も，速度と同程度に利用者に対するサービスにおいて重要なパラメータであるとしている．そのため，交通密度が交通サービスの質を評価するうえで適切な指標であると解説している．

往復 2 車線道路については，車両の追越し機会に制約があり，とくに大型車の速度低下等によってサービスに影響を受けやすいことから，**表-1** に示すように，サービス指標が他の指標とは異なる．往復 2 車線道路のサービスに関する研究はこれまでにも数多くされており，それらの成果を踏まえて，**表-2** に示すように，サービス指標の改良がされている．HCM 第 3 版では，遅れ時間率（車群内を走行したことによって生じた遅れ時間の割合）がサービス指標の一つとされていたが，次の第 4 版では，遅れ時間率に代わり，追従時間割合（先行車に追従して走行をした時間の割合）がサービス指標とされた．その後，最新の第 7 版では，往復 2 車線道路における利用者認識に関する各種研究の成果 [17]を踏まえ，追従車密度がサービス指標として使用されている．

都市内街路区間では，**表-2** に示すように，旅行速度がサービス指標であることには変わりはない．旅行速度は，基準となる自由走行速度から，信号交差点での遅れや沿道アクセス箇所の密度など，旅行速度に影響する各種要因により補正をすることで推定している．つまり，旅行速度の推定において，交通サービスの質に関わる様々な影響が結果的に含まれている．しかし，旅行時間を推定するに至るまでに考慮される要因や，最終的に旅行速度から LOS を決定する方法においては，**表-2** の注釈に記載するように，HCM の各版においてそれぞれ違いがあり，様々な研究成果を踏まえて随時アップデートされている．

そのほか，信号交差点や一時停止交差点といった交差点の評価においては，いずれも遅れがサービス指標となっている．自動車交通に対しては，すべての道路システムの要素において，交通の運用状態に関わる指標がサービス指標とされていることが分かる．

一方，歩行者・自転車については，LOS スコアにより LOS が決定される．LOS スコアは，前述のように第 5 版（HCM2010）から採用された指標であり，交通状態に関わるサービスのみならず，自動車交通との空間分離の程度や，そのほか，歩行者に対しては歩道幅員，自転車に対しては舗装状態なども LOS スコアの要素となっている．LOS スコアは，これら様々な要素の影響を総合的に評価するために，無次元化した数値に変換され使用される．

表-2　HCM におけるサービス指標
（一部の道路システムの要素を掲載）

HCM	高速道路区間	往復 2 車線道路	都市内街路区間
第 2 版 (1965)	速度 交通量交通容量比	速度 交通量交通容量比	速度*1
第 3 版 (1985)	交通密度	平均旅行速度 遅れ時間率	平均旅行速度 *1*2
第 4 版 (2000)	交通密度	平均旅行速度 追従時間割合	平均旅行速度 *2
第 5 版 (2010)	交通密度	平均旅行速度 追従時間割合	旅行速度 *3
第 6 版 (2016)	交通密度	平均旅行速度 追従時間割合	旅行速度 *4
第 7 版 (2022)	交通密度	追従車密度	旅行速度 *4

注）*1: 第 2 版・第 3 版では，郊外部の幹線道路と都市内街路は同一の章でまとめられている．
*2: 道路の階層区分ごと平均旅行速度に応じて LOS を決定
*3: 基準となる自由走行速度からの低下割合に応じて LOS を決定
*4: 基準となる自由走行速度との比較により LOS を決定

3.　サービス指標に関する既往研究レビュー

(1)　サービスの影響要因や利用者認識に関する研究

これまでにサービスに関する数多くの研究が行われてきている．ここでは，その中でサービスの影響要因や利用者認識について扱った研究 [18)-41)]の中で報告されている，サービスに関わる要因や利用者認識について，交通サービスの質の項目毎に整理する．なお，ここで扱う交通サービスの質の項目は，「速達性」，「移動の自由度（機動性）」，「快適性」，「安全性」とし，景観利便性や時間信頼性について扱ったものについては「その他」として整理した．交通サービスの質の項目毎に整理したものを**表-3** に示す．

表の中で対象を「自専道」と「一般道」，すなわち連続流区間と中断流区間とを区別しているが，まず，自専道を対象にしたものに着目する．

速達性については，“地点速度”や“希望速度との速度差”，“旅行速度”といった速度に関連する要因や，“交通流率”が要因として多くの研究で指摘されている．1990 年代には“渋滞中速度”，“渋滞継続時間”といった渋滞中の状況に着目した指標もあるが，近年においては交通サービスの質の要素としてこれらの指標に関する議論はされていない．

移動の自由度（機動性）については，“交通密度”や“車線変更”，“渋滞発生確率”といった観点の要因が挙げられており，大型車の影響を考慮する要因として大型車先行ダミーといったものも挙げられている．

快適性については，わが国の研究においては“縦断勾配”や“乗り心地”が，海外の研究においては速度および車頭時間のばらつきが挙げられているが，これについて検討されている研究は少ない．また，安全性については，“加速車線終端および直進車両との衝突余裕時間”

表-3　サービスの影響要因や利用者認識に関する研究

著者	発表年	対象	速達性	移動の自由度（機動性）	快適性	安全性	その他（景観利便性）（時間信頼性）	備考
Monall et al. [18]	1990	自専道		追越し割合				
松井ら [19]	1994	自専道	渋滞中速度 渋滞継続時間					
喜多ら [20]	1995	自専道	織り込み：平均旅行速度 ランプ接続部：交通流率	単路部：交通密度				
中村ら [21]	1999	自専道（単路部）	15 分間交通流率	追従走行時間比率 車線変更回数				
中村ら [22]	2000	自専道（単路部）	15 分間交通流率	追従走行時間比率			運転歴 運転頻度	
Hall et al. [23]	2001	自専道	旅行時間	交通密度		安全性	情報提供	
岡村ら [24]	2002	自専道	混雑度	自由走行性	縦断勾配・乗り心地		自然景観	
石田ら [25]	2003	自専道	瞬間速度 移動平均速度 一定速度以上の継続時間					渋滞判定
中村ら [26]	2004	自専道（単路部）	希望速度との速度差	車間距離 大型車先行ダミー×横断勾配				車線変更容易さ
藤田 [4]	2004	自専道	旅行速度 所要時間 遅れ	交通密度 交通量/交通容量 渋滞長 渋滞時間			利用者満足度 満足度	交通運用状態（道路管理者）と走行状況（道路利用者）とで異なる指標を提示
石橋ら [8]	2004	自専道	地点走行速度	pcu 換算交通密度				
喜多ら [27]	2004	自専道（オンランプ）	希望速度との速度差	流入ダミー 車線変更ダミー		加速車線終端への衝突余裕時間 直近車両との衝突余裕時間		
Washburn et al. [28]	2004	自専道	密度 速度変動 自由速度との差				舗装の質 他のドライバーのマナー	
Choocharuku et al. [29]	2004	自専道		交通密度 交通量	速度のばらつき 車頭時間のばらつき		トラックの割合	
石橋ら [9]	2005	自専道	地点走行速度	pcu 換算交通密度				
Ko et al. [30]	2006	自専道			加速ノイズ			
梶原ら [30]	2009	自専道					95%タイル所要時間 規制速度走行時の所要時間（速達性＋信頼性）	所要時間信頼性 速達性と信頼性の和で構成される
酒井ら [32]	2010	自専道	旅行速度（2 車線区間）	pcu 換算交通密度（多車線区間）				
喜多ら [33]	2011	自専道/一般道	地点平均速度					
上坂ら [34]	2011	自専道/一般道					標準偏差 95%タイル旅行時間 Buffer Time	旅行時間信頼性
松村ら [35]	2017	自専道（単路部）	目標旅行速度	交通密度			区間距離	
近田ら [36]	2018	自専道（単路部）		追従車構成率				
喜多ら [23]	1995	一般道	2 車線道路：遅れ時間率，平均旅行速度 信号交差点：平均停止遅れ 無信号交差点：残存容量 幹線街路：平均旅行速度	多車線道路：交通密度				
Pfefer et al. [37]	1999	一般道	速度または旅行時間遅れ 車間距離または密度	操縦性	速度変更 ブレーキ頻度	ニアミス 交錯 急停止・急操作 車間距離 速度差 車両サイズ	美観環境 騒音 空気の質 コスト	他にも多数挙げているが，主なものを掲載
Pécheux [38]	2004	一般道	旅行時間 旅行速度			違法な挙動 不注意な運転	樹木の有無 舗装の質 清潔さ 標識による車線案内	他にも多数挙げているが，主なものを掲載
Flannery et al. [39]	2005	一般道	旅行時間 平均旅行速度 停止回数 遅れ 信号交差点数				樹木の有無	
Flannery et al. [41]	2008	一般道	停止回数 左折専用レーンの有無				樹木の有無	
丸山ら [41]	2022	自専道/一般道	物流の効率性		物流車両の走行性		重要物流道路に特化したサービス（災害時）	重要物流道路

といったものが挙げられているが，これについても検討されている研究は少ない．

これ以外に，景観利便性として“自然景観”や“美観環境”といった要因が挙げられており，また，それ以外には，“運転歴”や“運転頻度”，“他のドライバーマナー”といった運転者（ドライバー）の特性に関する要因や，評価区間全体の距離といった評価における条件に関する要因が設定されているものもある．時間信頼性については，95%タイル所要（旅行）時間が用いられているが，速達性と信頼性の和として，規制速度走行時の所要時間が要因とされている研究[31]もある．

次に，一般道を対象とした指標に着目すると，速達性では自専道と同様に旅行速度等の指標もあるが，一般道路においては信号交差点や沿道出入りの影響を受けるため，“遅れ時間”も要因として挙げられている．しかしながら，自専道と比べて一般道に関する検討は日本において少ない．一方で，海外における研究では，“左折専用レーンの有無”や“停止回数”，“信号交差点数”，“車間距離”といった指標も挙げられている．また，移動の自由度においては操縦性，快適性においては速度変更やブレーキ頻度，安全性においては急停止・急操作といった運転時の細かな挙動に関する指標が見られる．また，景観や環境に関する指標もあるが，これらは日本では検討されていない項目である．

一方で，近年では，重要物流道路に特化した評価指標として，物流の効率性や物流車両の走行性，災害時のサービスに着目している研究事例[41]もある．

さらには，これらの指標の評価においては，実際には一連の走行の中で行われており，前後区間を走行した経験が対象区間の評価に影響するという「順序効果」が存在することを示し，この効果を適切に反映することで，より適切に利用者による区間全体の満足度を評価できることを示した研究[42]がある．

(2) サービスに関する指標の集約に関する研究

(1)より，これまでに様々な要因が各研究で検討されていることを示した．一方で，実際に実務で使用するにあたっては，多数の指標を取り扱うことは負担が大きい．提案された指標の中には，強い相関があり，集約して扱うことが可能なものも見受けられる．ここでは，これらの要因（指標）を集約させた指標について検討している研究について整理する．

我が国において，彦坂[43]らは，通行性能が最も重要視される高速道路における基礎的なサービス評価指標である平均速度は，基本的に交通量に影響されるが，これは利用者の経験する交通サービス水準だけでなく，交通事故率という交通安全評価指標にも密接に影響することを明らかにした．また，喜多ら[44]は，安全性と円滑性を包含した他の拠点への“行きやすさ度”という指標で考えている．行きやすさ度は，拠点間の移動に要する時間が長いほど低下し，渋滞による遅れや混雑による走行自由度の低下がある時はさらに低下するとされ，目標旅行時間で記述される．また，(1)で示した走りやすさによるドライバーの認識が時々刻々の認識の累積として形成されること[42]に対しては，各地点の運転環境に対するドライバーの地点評価値の平均値と最小値で記述しており，式(1)の構造が提案されている[44]．

$$A = \varphi_1 \frac{d}{v_{goal}} + \varphi_2 \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N} \left(V^t \cdot \frac{1}{(1+i)^t} \right) + \varphi_1 V_{min} + \varphi_4 \quad (1)$$

ここで，A：行きやすさ度，d：区間全体の距離(km)，v_{goal}：目標旅行速度，N：走行区間内の地点数，V^t：地点tの地点評価値，i：割引率，V_{min}：地点評価値の最小値，$\varphi_{1\sim4}$：パラメータである．

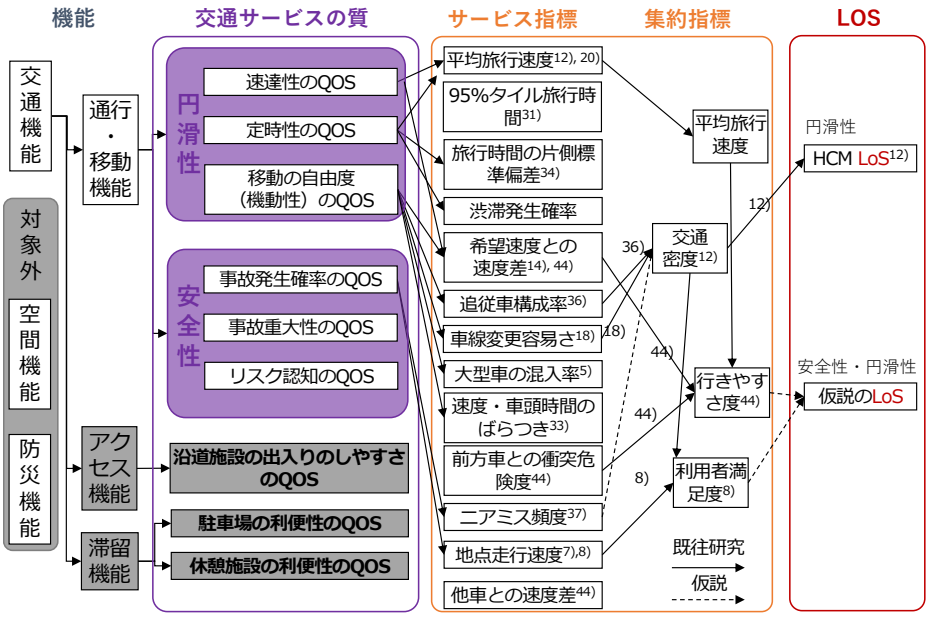
また，石橋ら[8]は円滑性および安全性に関する利用者の満足率を調査し，その影響要因を分析した．その結果，円滑性に関する満足率は地点走行速度や交通密度で表されること，さらに安全性に関する満足率は円滑性に関する満足率のみで説明可能であることを示しており，結果として安全性と円滑性の利用者満足率が同一の説明変数に依存するとしている．

4. 交通のサービスの質に関する概念の提案

2.と 3.に整理したとおり，交通サービスの質の要素は円滑性にとどまらず，また旅行時間だけで説明されるものでもない．**表-1** にまとめた通り，HCM では道路システムの要素や交通モードごとに 1 つのサービス指標を用いているが，これらが必ずしも必要とする交通サービスの質を網羅的に示せているわけではない．

本章では，前述の国内外の既往研究やガイドラインを踏まえて，複数の交通サービスの質と，それらを定量評価するためのサービス指標との関係性を概念的に整理する．ここでは例として，道路階層の高い自専道のファシリティにおける自動車の交通機能，そのうち特に通行・移動機能についてまとめたものの試案を**図-3** に示す．

基本的に，「交通サービスの質」はある道路区間のある交通状況において道路利用者が認識している各種の交通サービスの優良性を表すものである．これらの交通サービスの質をそれぞれ定量的に評価するものとして，「サービス指標」が提示される．サービス指標は，定量的に直接測定できる，または道路の幾何構造や交通状況等の影響要因により間接的に推定できる指標である．3 章で各種のサービス指標が提示されているように，一般



※図中の数字は文献番号に対応

図-3　交通サービスの質に関する概念図

的には，一つの「交通サービスの質」を評価するためのサービス指標は単一または複数存在しうる．

さらに，LOS は事業の意思決定に用いる指標として，交通サービスを段階的に評価する．交通サービスの質や，それを説明するサービス指標が複数あるとしても，LOS がそれに対応して複数存在することは，意思決定をいたずらに複雑にするだけである．また，3.(2)で示されたように，いくつかのサービス指標は複数の交通サービスの質を代表することができる．したがって，サービス指標として提示されたものの特性を集約していき，それらを評価水準と対応付けることで，各種の交通サービスを代表する LOS が提示できるものと考えられる．

図-3 では具体的には，円滑性の観点から速達性や定時性，移動の自由度（機動性）を交通サービスの質として挙げている．速達性とは道路階層に応じた目標旅行時間または利用者の希望旅行時間を達成できることを指している．定時性は渋滞等による遅れが発生する頻度等を表している．移動の自由度（機動性）は自動車の運転者が自由に車線変更，追従できるかどうかを表す．安全性の観点には，事故発生確率や事故の重大性，リスク認知度が交通サービスの質の要素に挙げられる．

前章で整理した交通サービスの質のうち，快適性には様々な観点がある．特に海外の文献では，円滑性や安全性が阻害されることが快適性の低下にもつながるという意味合いで快適性が論じられていることから，この試案では機動性などにまとめることができると考えた．

図ではこれらの円滑性と安全性の交通サービスの質に関連するサービス指標を既往研究から列挙して示した．

既往研究を踏まえると，これらの指標は「交通密度」という単独のサービス指標とのの相関が高いものが多く，HCM で用いる交通密度がサービス指標として各種の状況を代表できる指標であることが見て取れる．そのほか，「行きやすさ度」や「利用者満足度」といった，複数のサービス指標を組み合わせて導出できる集約指標も既往研究では提示されており，これらも含めて図示をしている．このような集約指標を用いて，交通サービスの質を総合的に評価するものとして LOS が位置づけられる．

ここまで，交通サービスの質とサービス指標，そしてサービス指標の集約についてまとめてきたが，既往研究ではサービス指標に対して具体的に LOS の閾値を提示するものはほぼ見られない．多くの場合は，HCM の LOS の評価値と，各論文で提案するサービス指標の対応関係を比較分析するのにとどまっている．

なお，ここで整理した概念図は，交通需要を所与としたときの内容である．交通容量は確率的に変動するものであり，例え交通需要が与えられていても，旅行時間が変動することは想定されるが，定時性にかかる検討の多くは交通需要に依存するため，定時性に関する指標はこの図では直接は LOS に結び付いていない．閑散時やピーク時，30 番目時間交通量など，評価対象とする設計交通量は計画・設計・運用の場面に応じて様々であり，需要の変動を踏まえた旅行時間信頼性も本来重要な論点である．これらについては，設計交通量の考え方とあわせて別途整理することが望まれる．

5. 日本の道路行政における道路交通のサービスの質および評価指標について

4.までの整理において，道路交通のサービスの質と評価指標の構造について，国内外の既往研究を踏まえその解釈について述べた．ここでは，現在の日本の道路行政における道路交通のサービスの質の評価の実態を整理し，今後本研究での検討内容を導入していくにあたっての課題について述べる．

現在の日本の道路行政において，道路交通のサービスの質の評価の時期は，大きく3段階に分けられ，計画・設計時，運用時，改良・改善検討時となっているため，その段階ごとに整理をする．

(1) 計画・設計時

道路の計画・設計時は，**図-4**に示す通り道路の機能[45]を踏まえて，道路の区分を決定し，線形や車線数といった道路の基本構造を決定するものである．この際，自動車交通量（計画交通量）と設計基準交通量により，計画交通量が設計基準交通を下回るか否かに応じて，車線数の検討を行っている．これは，道路交通のサービスの質の観点では，設計する道路区間の交通量/交通容量比を評価しているのと同義である．

それ以外の観点については，安全性の観点から道路線形等の道路構造を検討するために，設計速度を決定している．しかし，交差点や沿道の出入りなどを伴う一般道において，設計速度と走行速度には大きな乖離があり，設計速度はあくまで幾何構造を決定するための統一尺度でしかなく，サービスの質の指標とはなりえない．

よって，現在の道路の計画・設計時における，道路交通のサービスの質は，計画交通量に対して交通が問題なく流れるかという観点で行われている．

(2) 運用時

道路の運用時は，大きく円滑性，安全性の2つの観点で，道路交通のサービスの質の評価を行っている．具体的には，各都道府県において，主要渋滞箇所[46]や事故危険区間[47]，事故危険箇所[47]をピーク時旅行速度，渋滞継続時間，死傷事故率，死亡事故件数等の指標を基に設定し，各地点・区間をモニタリングし，対策実施状況を毎年把握し，道路交通状況の悪化・改善などをモニタリングしている．つまり，混雑時の速度，渋滞による遅れ，事故の危険度に関して，評価を行っている．

昨今では，道路ネットワークのパフォーマンスの視点に立った評価の検討が進められており，国土交通省[48]では，観測した速度の上位10パーセントタイル値を自由速度と定め，実勢速度（観測した速度の平均値）とのロス率を指標として，道路交通のサービスの質の評価を示した事例も見られる．また，一部の研究[49]においては，道路の機能に応じた使われ方がされているか，地方中核都市における環状道路の使われ方に着目し，分析している事例もある．

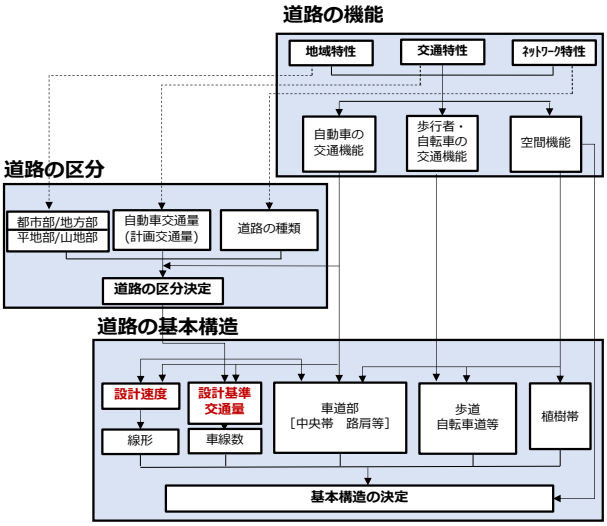


図-4 道路の基本構造の検討フロー[45]
（道路構造令の解説と運用より筆者らが作成）

(3) 改良・改善検討時

道路の改良・改善検討時は，主に運用時に見られたピーク時の旅行速度や死傷事故率の現状の課題を解決すべく対策を検討することが多いため，一部の円滑性や安全性の観点での指標により道路交通のサービスの質の評価を実施している．しかし，現在は，従来の評価指標だけでは，費用対効果や整備理由を強く押し出すことができないことから，新たな指標[50]を基に評価をする事業が増加している．例えば，「通行規制解消」「救命救急率向上」「CO_2排出量削減」など，道路交通のサービスの質の評価そのものよりも，道路交通のサービスの質が向上することによる波及効果を検討している事例が多くある．

このように，現在の日本の道路行政においては，大きくは，計画した交通量に対して交通需要が超過しないこと，現在運用されている道路が円滑性や安全性に関する一部の指標にて問題ないことを確認，整理することで道路交通のサービスの質の評価を行っているとみなしている．しかしながら，4.までの整理では速度や事故の発生状況などの指標は，道路交通のサービスの一部でしかなく，その他多くのサービスを適切に評価することに対して検討がなされている．日本においても今後，道路交通のサービスの質の評価を行っていくうえでは，道路の設計・計画段階における，交通量以外の観点による性能照査の手法の導入や運用時における道路交通のサービスの質の評価手順等の整備が求められると考えている．

6. おわりに

本論文は，交通サービスの質と，それを定量的に説明するサービス指標，LOS との関係について，HCM をはじめ各種の論文のレビューを行った．まず，交通サービスの質が円滑性のみならず，幅広い概念として捉えられていることを示し，そのうえで既往研究で検討されているサービス指標の対象と，関係する交通サービスの質の種類をまとめた．既往研究のサービス指標は，単なる速達性にとどまらず，移動の自由度や安全性といった交通サービスの質とも紐づけられるものがあることを示し，その関係性を試案としてまとめた．これらの要素が，現状の道路行政においては十分に考慮できていないことも課題として示した．

4 章にて，自専道の交通サービスの質とサービス指標，LOS の関係についての試案を示したが，サービス指標には非常に多くの要素が含まれており，それらを個別に評価することは実務上の負担も大きい．交通密度は，各サービス指標と，その背景にある交通サービスの質をある程度代表して説明することのできる集約指標として有用であることが改めて確認された．その一方で，そこに集約されないサービス指標があることにも留意が必要である．また，個別のサービス指標と交通密度との関係は必ずしも線形ではないという点にも注意を要する．これらを十分に考慮し，実務でも利用可能な集約指標の検討が今後の課題である．

その他の課題として，中断流を含む道路区間など，異なる道路階層の評価の構造についても整理を行っていく．また，自転車・歩行者といった交通手段別，あるいは滞留・沿道出入機能といった機能別の整理も行ったうえで，これらの組み合わせとして道路の交通サービスの質を複層的に評価できるようにすることが将来的な目標である．

謝辞：本論文は（一社）交通工学研究会　基幹型研究「道路の交通容量とサービスの質に関する研究」（代表：下川澄雄）の一環である．議論に参画いただいた当該研究のメンバーに謝意を表する．

参考文献

1) （一社）交通工学研究会：機能階層型道路ネットワーク計画のためのガイドライン(案)，2018 https://www.jste.or.jp/Activity/h27-29.pdf（最終閲覧日 2023 年 10 月 1 日）
2) （社）日本道路協会：道路の交通容量, 1984.
3) 岡村秀樹：都市間高速道路のサービス水準についての考察, 交通工学, Vol. 37, No. 6，pp. 61-68, 2002.
4) 藤田清二：高速道路のサービス水準の適用に関する考察, 土木学会論文集, No. 772/IV-65, pp. 33-40, 2004.
5) 喜多秀行：道路が提供する交通サービスの質, 高速道路と自動車, Vol. 47, No. 8, pp. 5-8, 2004.
6) 大口敬，中村英樹：日本における交通容量・サービスの質に関する研究の概観と展望，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.67, No.3, pp.217-229, 2011.
7) 桐山孝晴；道路のサービス水準について，交通工学 Vol．40, No.1, 2005.
8) 石橋善明，小藪英彦，河内朗：道路利用者満足評価に基づく高速道路のサービス水準の評価, 土木学会論文集, No. 772/IV-65, pp. 41-51, 2004.
9) 石橋善明，阿部公一：高速道路のサービス水準に関する調査検討, 交通工学, Vol. 40, No. 1, pp. 35-43, 2005.
10) 保久原均，桐山孝晴，塚田幸広：道路交通のサービス水準の評価手法の検討，土木技術資料，Vol.47, No.7, pp. 54-59, 2005
11) （一社）交通工学研究会：道路の交通容量とサービスの質に関する研究 成果報告書 （交通容量編），https://www.jste.or.jp/Activity/h30-r2.pdf（最終閲覧日 2023 年 10 月 1 日）
12) Highway Capacity Manual 7th Edition A Guide for Multimodal Mobility Analysis, 2022.
13) Roess, R. P., Vandehey, M. A., Kittelson, W.: Level of Service: 2010 and Beyond. Transportation Research Record, 2173(1), pp.20-27, 2010.
14) Kittelson, W. K., Roess, R. P.: Highway Capacity Analysis After Highway Capacity Manual 2000, Transportation Research Record, 1776(1), pp.10-16, 2001.
15) Roess, R., P., Prassas, E., S.: The Highway Capacity Manual: A Conceptual and Research History Volume 1: Uninterrupted Flow., 2014.
16) Roess, R., P., Prassas, E., S.: The Highway Capacity Manual: A Conceptual and Research History Volume 2: Signalized and Unsignalized Intersections., 2020.
17) National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine; Transportation Research Board; National Cooperative Highway Research Program: Improved Analysis of Two-Lane Highway Capacity and Operational Performance. Washington, DC: The National Academies Press, 2018.
18) Morall J. F., Werner A.: Measuring Level of Service of Two-Lane Highways by Overtakings, Transportation Research Record, No. 1287, pp. 62–69, 1990.
19) 松井寛，藤田素弘，阿江章：人間の知覚に基づく高速道路渋滞の情報提供とその評価に関する研究，土木学会論文集，No.494/IV-24, pp.127-135, 1994.
20) 喜多秀行, 藤原栄吾:道路のサービス水準評価指標の再考とひとつの提案, 第 15 回 交通工学研究発表会論文報告集, pp.25-28, 1995.
21) 中村英樹, 加藤博和, 鈴木弘司，劉俊せい：ドライバーの感覚に基づいた交通状況評価の計量手法と要因分析，交通工学研究発表会論文報告集，Vol.19th Page.133-136，1999.
22) 中村英樹, 加藤博和, 鈴木弘司, 劉俊せい：ドライバー主観の計量による高速道路単路部のサービスの質の定量化とその要因，土木計画学研究・論文集，No.17 Page.941-946, 2000.
23) Hall, F., Wakefield, S., Al-Kaisy, A.: Freeway Quality of Service: What Really Matters to Drivers and Passengers?, Transportation Research Record, 1776(1), pp.17–23, 2001.
24) 岡村秀樹, 河内建, 熊谷孝司：高速道路における運転快適性調査に基づくサービス水準の考察，交通工学

研究発表会論文報告集，Vol.22nd Page.53-56, 2002.
25) 石田東生，古屋秀樹, 甲斐慎一朗，岡本直久：主観的評価を考慮した渋滞判定に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.20 No.4 Page.887-894, 2003.
26) 中村英樹，鈴木弘司，劉俊せい：ドライバーストレスの間接計測に基づく高速道路単路部におけるサービス水準の評価，土木学会論文集，No.772, Page.11-21, 2004.
27) 喜多 秀行, 前田 信幸：道路交通における走行サービスの質とその計測，土木学会論文集，No.772/IV-65, pp.3-10, 2004.
28) Washburn, S. S., Ramlackhan, K., McLeod, D. S.: Quality-of-Service Perceptions by Rural Freeway Travelers: Exploratory Analysis. Transportation Research Record, 1883(1), pp.132–139, 2004.
29) Choocharukul, K., Sinha, K., C., Mannering F., L.: User perceptions and engineering definitions of highway level of service: an explanatory statistical comparison. Transportation Research Part A, 38, pp.677-689, 2004.
30) Ko, J., Guensler, R., Hunter, M.: Variability in Traffic Flow Quality Experienced by Drivers: Evidence from Instrumented Vehicles. Transportation Research Record, 1988(1), pp.1-9, 2006.
31) 梶原一夫，中本浩志，石田貴志，野中康弘：所要時間信頼性に関する指標の提案と適用事例，土木計画学研究・講演集，Vol.39, 論文番号 321, 2009.
32) 酒井隆，内田敬：高速道路単路部の運転者満足度推計モデル，土木計画学研究・論文集，Vol.27, No.3, pp.595-604, 2010.
33) 喜多秀行，河内朗：ドライバーの認識構造を踏まえたサービス指標の選定法，土木計画学研究・講演集, Vol.43, ROMBUNNO.21, 2011.
34) 上坂克巳，関谷浩孝，橋本浩良，原田優子，奥谷正，吉岡伸也，野間真俊：道路交通における旅行時間信頼性の調査,分析及び評価方法に関する実用的研究，国土技術政策総合研究所資料，2011.
35) 松村 健志, 渡邉 友崇, 四辻 裕文, 喜多 秀行：道路交通特性の関連性分析と交通性能評価への応用，交通工学論文集，Vol.3, No.2, pp.A_271-A_279, 2017.
36) 近田博之，中村英樹:追従車構成率を用いた都市間高速道路の交通流サービスの質の評価，土木計画学研究・講演集, Vol.57, ROMBUNNO.09-04, 2018.
37) Pfefer, R. C.: Toward Reflecting Public Perception of Quality of Service in Planning, Designing, and Operating Highway Facilities, Transportation Research Record, 1685(1), pp.81–89, 1999.
38) Pécheux, K., K., Flannery, A., Wochinger, K., Rephlo, J., Lappin, J.: Automobile Drivers' Perceptions of Service Quality on Urban Streets, Transportation Research Record, 1883(1), pp.167–175, 2004.
39) Flannery, A., Wochinger, K., Martin, A.: Driver Assessment of Service Quality on Urban Streets. Transportation Research Record, 1920(1), pp.25-31, 2005.
40) Flannery, A., Rouphail, N., Reinke, D.: Analysis and Modeling of Automobile Users' Perceptions of Quality of Service on Urban Streets, Transportation Research Record, 2071, pp.26-34, 2008.
41) 丸山大輔，中村滋，乙守和人，牧野浩志：重要物流道路のサービス水準と評価指標の検討，JICE Report, 2022.
42) 喜多秀行，河内朗，谷本圭志：走行サービスの質に対する順序効果の影響を考慮したドライバーの認識・評価構造の実証分析，土木計画学研究・論文集, Vol.25 No.2 Page.515-523, 2008.
43) 彦坂崇夫, 中村英樹：高速道路単路部における交通状況と事故率との関連に関する統計的分析：交通工学研究発表会論文報告集，Vol.21, pp.173-176, 2001.
44) 喜多 秀行，浅香 遼，渡邉 友崇，辻谷 純，四辻 裕文：円滑性と安全性に着目した道路の性能評価指標, 土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.71, No.5, pp.I.985-I.990, 2015.
45) 公益社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用, 2015.
46) 国土交通省　東北地方整備局　山形河川国道事務所：山形県渋滞対策推進協議会，https://www.thr.milt.go.jp/yamagata/road/trafficjam/.（閲覧 2023 年 10 月 06 日）
47) 国土交通省：道路交通安全対策，幹線道路の交通安全対策，https://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/sesaku/torikumi.html.（閲覧2023年10月6日）
48) 国土交通省：第81回基本政策部会　配布資料，今後のICT交通マネジメント，https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001595751.pdf
49) 後藤梓, 小木曽俊夫, 牧野浩志, 池田裕二, 榊 真, 牧 佑奈:地方中核都市における環状道路の機能と通過交通る実態分析，土木学会研究・論文集 第36巻（特集），Vol.75, No.5, p.I_681-I_691, 2019.
50) 立川学，矢崎政人：道路事業における新たな費用便益分析について，土木計画学・講演集，Vol.42，CD-ROM，2010.10.

(2023.10. 13 受付)

A STUDY ON STRUCTURE OF QUALITY OF SERVICE AND SERVICE MEASURES
– A REVIEW OF SERVICE MEASURES AND CONCEPTUAL ARRANGMENT –

Miho IRYO, Xin ZHANG, Keisuke YOSHIOKA, Eri AOYAMA and Yuji KAKIMOTO