北海道における「2+1車線」型道路の性能評価

宗広 一徳¹・高田 哲哉²・石田 樹³・松田 武⁴

¹正会員 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム 主任研究員
(〒 062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3-1-34)

E-mail: k-munehiro@ceri.go.jp

²正会員 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 (〒 062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3-1-34)

E-mail: t-takada@ceri.go.jp

³正会員 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 (〒 062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3-1-34)

E-mail: t-ishida@ceri.go.jp

⁴国土交通省 北海道開発局 稚内開発建設部 (〒 097-8527 稚内市末広 5-6-1)

E-mail: matsuda-t22ae@mlit.go.jp

本研究は、「2+1車線」型道路の性能評価の実施に際し、サービスの質を表す指標として、平均旅行速度、追従車率及び追従車密度を取り上げ、付加車線の配置と得られるサービスに関する交通流ミクロシミュレーション及び実道での実測結果を報告する。路面状態は、乾燥路面と圧雪路面の2条件とした。評価指標として追従車密度を基に、積雪寒冷地2車線道路のサービス水準の構築を試行した。一定間隔で付加車線を設置することにより、乾燥路面時と圧雪路面時の両方で、2車線道路のサービスのレベルが改善することが示された。「2+1車線」型の整備が行われた国道40号更喜苦内道路(稚内市～豊富町)を事例研究とし、追従車密度を実測したところ、冬期の圧雪路面時においてもサービス水準Aが確保されていることが示された。

Key Words: “2+1 lane” highway, quality of service, follower density, snow condition

1. はじめに

積雪寒冷地に位置する北海道における国道の総延長は約6,721km¹⁾である。道路の車線数別でみると、同総延長の90%以上が、2車線道路により占められている。北海道の降雪は、例年11月～3月までの約5ヶ月間に亘り断続的に続く。このため、道路の路面状態は、乾燥路面に加えて、冬期には道路舗装が雪で覆われる圧雪路面が出現する頻度が多くなる。通常期(春期～秋期)の乾燥路面状態では交通量の増加に伴い、道路のサービスの質が低下するが、これに加えて積雪期(冬期)には降雪や路面状態の悪化、すなわち圧雪路面の発生により、道路のサービスの質がさらに低下する。国道の90%以上を占める2車線の道路構造においては、追越禁止の車線規制や対向車両の存在により、車両の追越しの機会が制限される。このため、低速車両を先頭として、車群が形成されやすく、道路の走行性が低くなる特徴を有している。

北海道郊外部の国道では、低コストの整備により道路利用者へのサービスの質を向上させるために、既設の2車線道路から「2+1車線」型道路²⁾への改良事業が進められている。本研究では、「2+1車線」型道路とは、中央分離帯等により上下方向が分離され、付加車線が連続的・断続的に設置された2方向2車線道路と定義する。例えば、国道40号更喜苦内道路(稚内市～豊富

町)は、現道活用による「2+1車線」型道路の整備が平成17年度より進められた。また、中間的な交通需要の道路に求められるサービス性能を確保するため、スウェーデンやドイツをはじめとする欧米諸国などでは、「2+1」車線型道路³⁾の整備が進展している。我が国においても、2車線道路並びに「2+1車線」型道路のサービスの質について、評価指標の構築及び評価の実践が求められている。先行研究として、中村ら⁴⁾は、高規格道路を対象とし、サービスの質を表す評価指標として追従車密度を採用し、2車線道路における付加追越車線の設置効果を評価する方法を示した。佐藤ら⁵⁾は、北海道の国道38号の付加車線を対象とし、避讓挙動の観測結果から車線変更率や車線変更位置を示した。

しかし、積雪寒冷地における国道の付加車線の設置効果やサービスの質に関する研究例は少ない。筆者らは、北海道の国道を対象とし、通常期並びに積雪期における付加車線の設置効果⁶⁾に関する研究に取り組んできた。これまでに、机上検討として、乾燥、圧雪などの路面状態の変化に対応した2車線道路の交通流を再現するため、交通流ミクロシミュレーションプログラムSIM-R⁷⁾を開発し、北海道内国道(2車線道路及び付加車線設置区間)の実道データによる現況再現の検証^{8),9)}及びサービスの質を表す評価指標の構築を試行した。さらに、実践的な取り組みとして、国道40号更喜苦内道路の改良事業の進展に合わせて、同道路の付加車線設置区間の

実測データの取得に着手した。本論文では、通常期並びに積雪期における「2+1 車線」型道路のサービスの質の評価方法を示すために、交通流マイクロシミュレーションプログラム SIM-R の活用、及び国道 40 号更喜苦内道路の実測データの結果から、以下の点を明らかにすることを目的としている。

- 1) サービスの質を表す評価指標として、平均旅行速度、追従車率、追従車密度を取り上げ、各指標の有効性を示す。
- 2) 通常期の乾燥路面及び積雪期の圧雪路面を踏まえたサービス水準の考え方を示す。
- 3) 積雪期における国道 40 号更喜苦内道路の実測データから、付加車線の設置効果を示す。

2. 2 車線道路のサービスの質を表す評価指標

道路は、利用者に対し、交通の円滑性、快適性、定時性、信頼性、安全性等多くの側面からサービスを提供しており、各々に対応するサービス水準の評価指標の開発が行われている。米国では、米国交通運輸研究会議 (Transportation Research Board) が発行する Highway Capacity Manual 2010¹⁰⁾ (HCM 2010) において、サービス水準 (Level of Service) の考え方がまとめられている。HCM 2010 では、2 車線道路のサービス水準の具体的な評価指標として、平均旅行速度 (Average Travel Speed: ATS) と追従時間率 (Percent Time-Spent-Following: PTSF) の 2 つを挙げている。サービス水準による評価は、計画・設計段階から運用段階まで一環して行われる。計画・設計段階では、目標とするサービス水準を実現するために必要な道路構造が決定され、運用段階では、目標のサービス水準を達成しているかどうかのチェックが行われる。関連した既往研究として、Brilon and Weiser¹¹⁾ は、ドイツにおける地方部の 2 車線道路を事例とし、ドイツの経験として性能評価について論じた。Al-Kaisy and Karjala¹²⁾ は、様々な 2 車線道路の評価指標の既往研究をレビューし、各指標の優位性について論じた。既往研究等から、以下に主たる評価指標の概略を記す。

(1) 平均旅行速度

平均旅行速度 (ATS) は、HCM 2010 における 2 つの評価指標のうちの 1 つである。ある車両が特定区間を走行するときの平均速度を意味する。この指標は、交通技術者がしばしば使用しているが、現地計測が簡単である特長を有し、また、一般ドライバーからも、分かりやすい指標といえる。

(2) 追従車率

追従車率 (follower percent: *Foll%*) は、ある観測断面の交通流における追従車両のパーセントで定義される。追従車両とは、前方車両の後方を比較的短い車頭間隔で続いて走行する車両のことである。本評価指標は、現地で簡単に計測することができるため、HCM 2010 におけるもう 1 つの評価指標である追従時間率 (PTSF) を現場実務上、代替できる指標として、HCM 2010 において用いられている。なお、HCM 2010 では、「前車と後車の車頭間隔が 3 秒を超えない」場合、追従状態にあると定めている。

(3) 追従車密度

追従車密度 (follower density: *FD*) とは、1 km 当たりの追従車両の台数で定義される。Van As は、南アフリカにおける 2 車線道路を建設する手続きの一部として、本評価指標の適用を報告¹³⁾している。本評価指標の特長は、追従車率とは異なり、交通状況の影響を効率的に反映できることである。交通密度を現地で直接計測することは難しいが、追従車率の計測断面において、交通量観測と速度観測から算定することが可能である。交通量と速度は、簡易トラフィックカウンターやビデオ撮影等による計測結果を利用し、算定できる。追従車密度 *FD* (台/km) は、式 (1) に示すように交通密度 *k* (台/km) と追従車率 *Foll%* の積で表される。

$$FD = k \times Foll\% \quad (1)$$

Catbagan and Nakamura (中村) の既往研究¹⁴⁾では、日本における 2 車線道路の計測結果から、2 車線道路のサービス水準の評価指標として、追従車密度の有効性を言及している。

本研究では、既往研究等も踏まえて、2 車線道路のサービスの質を評価するに際し、道路利用者への分かりやすさとデータ取得の容易さの観点から、評価指標として平均旅行速度、追従車率及び追従車密度を取り上げ、交通流マイクロシミュレーションの結果と現地実測の結果を述べる。

3. 実験区間

北海道の最北に位置する国道 40 号更喜苦内道路 (稚内市～豊富町: $L = 18.7$ km) を本研究の対象とし、交通データを実測した。同道路の位置は図-1 に示すとおりである。同区間は、国による防雪事業として平成 17 年度に工事着手され、平成 26 年度に本線工事が完了した。同区間の周辺は、北海道内でも有数の暴風雪が発生する地域である。周辺の土地利用はすべて農地・牧草地であることから、低速車両の農耕車が国道を通行する。そのような背景から、低速走行の車両と高速走

図-1 国道 40 号更喜苦内区間の位置

写真-1 国道 40 号稚内市更喜苦内区間（左：夏期（平成 26 年 8 月撮影）、右：冬期（平成 27 年 1 月撮影））

図-2 道路横断面構成（防護柵分離区間）

行の車両の分離，冬期雪害時の通行確保を考慮し，区間延長 18.7km のうち，上り側（稚内→豊富）に 3 箇所，下り側（豊富→稚内）に 3 箇所の付加車線の配置が計画され，「2+1 車線」型の道路として改良事業が行われた。すなわち，同道路区間は，中央分離帯により上下方向が分離され，付加車線が断続的に交互に設置された 2 方向 2 車線道路の構造を有している。同道路の設計速度は 80 km/h，横断面構成は写真-1 及び図-2 に示すとおりである。

なお，同道路区間の構造を決定する際，道路利用者である地域代表者等から構成される地域協働ワークショップ¹⁵⁾を行い，付加車線の形式としてゆずり形式が採用された。

本研究では，平成 25 年 12 月の積雪期に圧雪路面条件下で路側にビデオカメラを設置し，交通データを実

表-1 道路構造の概要

時期	道路構造
方向	
実験時（平成 25 年 12 月）	
上り方向 （稚内→豊富）	1 車線～2 車線～1 車線～2 車線～1 車線 (L=3.9km) (L=1.5km) (L=8.8km) (L=1.5km) (L=3.0km)
下り方向 （豊富→稚内）	1 車線～2 車線～1 車線～2 車線～1 車線 (L=5.9km) (L=0.8km) (L=8.8km) (L=1.5km) (L=1.7km)
完成時（平成 26 年 11 月）	
上り方向 （稚内→豊富）	1 車線～2 車線～1 車線～2 車線～1 車線～2 車線～1 車線 (L=3.9km) (L=1.5km) (L=3.6km) (L=1.5km) (L=3.7km) (L=1.5km) (L=3.0km)
下り方向 （豊富→稚内）	1 車線～2 車線～1 車線～2 車線～1 車線～2 車線～1 車線 (L=6.1km) (L=1.4km) (L=3.1km) (L=1.2km) (L=3.7km) (L=1.5km) (L=1.7km)

表-2 感度分析の諸条件

項目	感度分析のケース
道路ネットワーク	30km
付加車線延長	1.5km
付加車線設置間隔	なし， 3km， 5km， 7km， 8.5km， 10km
時間交通量	100 - 500 台/h
大型車混入率	23.6%
路面状態	乾燥 (f=0.80)， 圧雪 (f=0.30)
シミュレーション回数	10 回
計算除外時間 (プレシミュレーション時間)	600 秒
シミュレーション時間	3,600 秒

測した。この段階では，付加車線設置区間の一部が供用されており，各方向に 2 箇所の付加車線が設置されていた（表-1）。

4. 付加車線設置による評価指標の変動

(1) 交通流マイクロシミュレーションの検討

a) シミュレーション結果

交通流マイクロシミュレーションプログラム SIM-R を用いて，付加車線の配置間隔，時間交通量，路面状態を変数とした感度分析を行った。交通流マイクロシミュレーションの現況再現及び実行については既往研究^{8),9)}で述べているので，ここでは結果のみを示す。ネットワーク総延長は 30 km とし，車両が発生し 10 km 到達までは車群形成区間，同区間以後の 20 km を評価対象区間とした。感度分析の諸条件を表-2 に示した。道路ネットワークのリンク規制速度は 60 km/h，希望速度分布は北海道郊外部の国道の実測データに基づいた。大型車混入率は，平成 17 年度道路交通センサス¹⁶⁾における北海道内の平地部・山地部 2 車線道路の平均値である 23.6%とした。

本シミュレーションは，北海道郊外部の国道に付加車線を設置したときのサービスの質の変動を予め把握するために実行した。

追従の定義は，通常期の乾燥路面時においては HCM

2010に基づき、「前車と後車の車頭間隔が3.0秒以下」とした。しかし、積雪期の圧雪路面時には、乾燥路面と比べてすべりやすい状態となる。それゆえに、ドライバーは、安全性の観点から、同じ走行速度の場合、乾燥路面時に比べて前方車両との車間距離をより大きく確保して運転する。ここで、制動停止距離¹⁷⁾は、式(2)

で求めることができる。

$$D = \frac{V}{3.6}t + \frac{V^2}{2gf(3.6)^2} \quad (2)$$

ここで、 D ：制動停止距離(m)

V ：走行速度(km/h)

f ：縦すべり摩擦係数

t ：反応時間(sec)

g ：重力加速度(=9.8m/s²)

圧雪路面時の縦すべり摩擦係数 f を0.30、反応時間 t を2.5(sec)と設定した場合の制動停止距離と車頭間隔を示すと図-3の通りである¹⁸⁾。積雪期の圧雪路面時の制動停止距離と車頭距離(3.0秒、4.0秒、4.5秒、5.0秒)を比較した。時間交通量が多く圧雪路面時の平均旅行速度は40km/h程度まで低下し、同制動停止距離と車頭間隔(4.5秒)が近くなることから、本論文では圧雪路面時の追従を「車頭間隔4.5秒以下」と設定¹⁹⁾した。感度分析を実行したケースのうち、片方向の時間交

図-3 圧雪路面時の制動停止距離と車頭距離

図-4 付加車線配置による各評価指標の変動(交通量:200台/h)

通量が200台/hのときの結果を図-4、500台/hのときの結果を図-5に示す。評価指標は、平均旅行速度、追従率及び追従車密度である。乾燥路面時時の平均旅行速度は、車両発生地点からの距離が進むに伴って低下するが、付加車線区間で向上する傾向が見られた。追従率並びに追従車密度は、車両発生地点からの距離が進むに従って、増加する傾向にあるが、付加車線区間で低下した。

乾燥路面時の時間交通量200台/hのときの片側1車線道路（付加車線設置なし）では、終点付近で追従率80%程度まで増加した。3km間隔に付加車線を設置すると、追従率は、距離10km付近で45%程度、距離30km付近では60%程度に低下した。3km間隔、5km間隔、7km間隔など、一定間隔で付加車線を設置する毎に、追従率は低下した。設置間隔が短くなるほど、

その効果が発揮された。追従車密度は、片側1車線道路（付加車線設置なし）では、距離10km地点で約2台/km、終点付近で約3台/kmとなった。3km間隔、5km間隔、7km間隔など、一定間隔で付加車線を設置すると、追従車密度は1~2台/kmに低下した。

圧雪路面時の時間交通量200台/hのときの平均旅行速度は、車両発生地点からの距離が進むに従って低下するが、付加車線区間で向上する傾向が見られた。追従率は、車両発生地点から距離が進むに伴って増加し、片側1車線道路（付加車線設置なし）の終点付近の追従率は約90%となった。3km間隔、5km間隔、7km間隔など、一定間隔で付加車線を設置すると追従率は50~70%まで低下した。同様に、片側1車線道路（付加車線設置なし）の終点付近で、追従車密度4台/km程度になる。しかし、3km間隔、5km間隔、7km間隔な

(1) 平均旅行速度（乾燥路面，交通量：500台/h）

(4) 平均旅行速度（圧雪路面，交通量：500台/h）

(2) 追従率（乾燥路面，交通量：500台/h）

(5) 追従率（圧雪路面，交通量：500台/h）

(3) 追従車密度（乾燥路面，交通量：500台/h）

(6) 追従車密度（圧雪路面，交通量：500台/h）

図-5 付加車線配置による各評価指標の変動（交通量：500台/h）

ど、一定間隔で付加車線を設置することにより、追従車密度は約 2 台/km となり、サービスの質が改善された。

乾燥路面時の時間交通量 500 台/h の片側 1 車線道路（付加車線なし）では、終点付近で平均旅行速度 50 km/h 程度まで低下する。同様に、終点付近で追従車率 90% 程度まで増加した。3 km 間隔に付加車線を設置すると、追従車率は、距離 10 km 付近で 50% 程度、距離 30 km 付近では 70% 程度に低下した。3～10 km の一定間隔で付加車線を設置する毎に、追従車率は低下した。追従車密度は、距離 10 km 地点で約 8 台/km、終点付近で約 9 台/km となった。一定間隔で付加車線を設置すると、追従車密度は 4～6 台/km に低下した。

圧雪路面時の時間交通量 500 台/h の片側 1 車線道路（付加車線なし）の平均旅行速度は、車両発生地点からの距離が進むに従って 42～43 km/h まで低下するが、付加車線区間で向上する傾向が見られた。追従車率は、終点付近で追従車率は約 95% となった。3～10 km の一定間隔で付加車線を設置すると追従車率は 50～80% まで低下した。同様に、片側 1 車線道路（付加車線設置なし）の終点付近で、追従車密度 11 台/km 程度になる。しかし、3 km 間隔、5 km 間隔、7 km 間隔など、一定間隔で付加車線を設置することにより、追従車密度は 5～8 台/km となり、サービスの質が改善された。

b) 積雪寒冷地 2 車線道路のサービス水準の提案

これまでの道路のサービス水準に関する既往研究では、冬期気象や積雪期の路面状態の変動については考慮されてこなかった。前述のシミュレーション結果を踏まえ、通常期の乾燥路面と積雪期の圧雪路面を考慮したサービス水準の構築を試みる。同シミュレーション結果から、平均旅行速度、追従車率及び追従車密度ともに、評価指標として有効であることが分かった。本論文では、追従車密度の適用を試みる。追従車密度を選択した理由は、他の指標と比較し、適切な感度により、時間交通量と路面状態の交通条件及び気象の影響を表すからである。サービス水準の評価指標として追従車密度の適用については、南アフリカ¹³⁾、日本¹⁴⁾、ドイツ²⁰⁾などで研究事例が報告されている。さらに、米国オレゴン州運輸局²¹⁾では、地方部の 2 車線道路のサービス水準として、追従車密度を評価指標として適用し、**表-3**のクラス分けを提案している。本論文の研究対象は、地方部の 2 車線道路であることから、**表-3**の追従車密度の閾値を基に、サービス水準の構築を試みる。

表-4は、2 車線道路及び「2+1 車線」型道路を対象とし、時間交通量別並びに路面状態別（乾燥路面、圧雪路面）の追従車密度を示している。本表中の追従車密度の値は、起点から距離 20.545 km の位置、すなわち付加車線区間終端の片側 1 車線区間の断面におけるシミュレーション結果に基づいている。例えば、時間交

表-3 追従車密度によるサービス水準の試行（2 車線道路）

サービス水準	追従車密度 [台/km・車線]	追従車密度 [台/mile・車線]
A	≤1.2	≤2
B	≤2.2	≤3.5
C	≤3.7	≤6
D	≤5.6	≤9
E	>5.6	>9

表-4 時間交通量別及び路面状態別の追従車密度

時間交通量 (台/時/方向)	乾燥路面（通常期）		圧雪路面（積雪期）	
	2車線道路	2+1車線道路 (3km 間隔)	2車線道路	2+1車線道路 (3km 間隔)
100	1.1	0.7	1.5	0.9
200	2.7	1.9	3.8	2.5
300	4.5	2.9	6.3	4.3
400	6.3	4.3	8.7	6.0
500	8.2	6.0	11.2	8.0

注)

LOS	凡例
A	
B	
C	
D	
E	

通量 200 台/h のとき、乾燥路面状態の 2 車線道路ではサービス水準 C であるが、「2+1 車線」型道路（3 km 間隔で付加車線設置）ではサービス水準 B となる。さらに、時間交通量 300 台/h のとき、圧雪路面状態の 2 車線道路はサービス水準 E であるが、「2+1 車線」型道路ではサービス水準 D となる。目標となるサービス水準を設定することにより、対象地域の気象・路面状態も考慮し、道路構造（付加車線の設置間隔など）を決定する際の参考とすることができる。

(2) 実測調査

a) 実験区間の実測結果

平成 25 年 12 月 17 日（火）7 時～15 時（8 時間）に、国道 40 号更喜苦内道路（稚内市～豊富町：KP227.5～KP229.5 区間）の付加車線区間を対象とし、路側にビデオカメラ 5 台を設置し、道路中心線に対して直角方向で撮影した（**図-6** 参照）。同付加車線は、**表-1** 中の上り方向（稚内→豊富）の 2 番目に位置し、片側 1 車線区間（ $L = 8.8$ km）の後、延長 $L = 1.5$ km の付加車線が運用されている。観測日の気象データ²²⁾は、最高気温 2.0℃、最低気温 -3.9℃、降雪 2 cm、積雪 19 cm であった。現地の路面状態は圧雪であった。撮影ビデオを基に、車両の通過速度（km/h）、車頭間隔（sec）、交通量（台）を 5 分間毎に集計した。現地の観測交通量は、約 100～150 台/h であった。集計データを基に、**図-6** 中の地点 1～地点 5 までの 5 観測断面の平均速度、追従車率

図-6 定点観測地点の位置

図-7 実測結果：平均速度（各観測地点の $N = 96$ ）

図-8 実測結果：追従車率（各観測地点の $N = 96$ ）

と追従車密度を5分間毎に算出し、箱ひげ図で表したところ、図-7、図-8及び図-9を得た。箱ひげ図で示したのは、実交通の変動をより分かりやすくするためである。

上り方向（稚内→豊富）には、延長 $L = 1.5\text{ km}$ の付加車線が設置されている。片側1車線道路区間かつ付加車線の手前に位置する地点1においては、5分間の平均速度は約 65 km/h であった。付加車線設置区間内の地点2～4では、平均速度は約 75 km/h に向上した。地点1の追従車率の平均値が40%、85パーセンタイル値60%にも至った。片側2車線に分流し付加車線の中に位置する地点3では、追従車率の平均値が30%、85

図-9 実測結果：追従車密度（各観測地点の $N = 96$ ）

パーセンタイル値が43%に低下した。さらに、付加車線区間が終わり、片側2車線から片側1車線区間に合流した地点5では、追従車率の平均値で20%、85パーセンタイル値で38%まで改善した。追従車密度は、地点1では平均値0.8、85パーセンタイル値1.5、最大値2.5であったが、片側2車線区間に分流し付加車線区間内の地点2～4の間で徐々に追従車密度は低下し、片側1車線区間の地点5では平均値0.4、85パーセンタイル値0.7までサービスレベルが改善された。

一方、下り方向（豊富→稚内）は、全ての観測地点が片側1車線区間である。地点1～5までの平均速度は、平均値で 70 km/h 前後であった。同様に地点1～5までの追従車率は、平均値で35%、85パーセンタイル値で50%程度であった。同様に、追従車密度は、平均値で0.7、85パーセンタイル値で1.2であった。

上り方向の実測値について、表-3の追従車密度のクラス分けから判断すると、地点1の片側1車線区間（付加車線の手前）では、平均値ではサービス水準Aが保たれるが、85パーセンタイル値ではサービス水準Bが保たれている。地点2～地点4までの片側2車線区間及び地点5の合流後の片側1車線区間では、平均値及び85パーセンタイル値ともに、サービス水準Aが確保された。すなわち、降雪に見舞われた圧雪路面状態の冬期条件下においても、付加車線設置により高いサービスの質が確保されることが実測データにより示された。

b) 交通運用

本実験区間は、実測調査時点（平成25年12月）では、法定速度 60 km/h の運用が行われていた。

しかし、平成26年7月30日より、本実験区間を含む延長 $L = 3.7\text{ km}$ （KP226.15～KP229.88）は、交通規制基準の一般道路の規制速度の決定方法²³⁾に基づき、規制速度 70 km/h とされた。本道路は、非市街地の2車線で上下線が分離されている構造を持っている。歩行者、軽車両及び原動機付き自転車の通行止め規制が実施されており、自動車の通行機能を重視した構造であることから、規制速度 70 km/h が運用されるに至った。

5. まとめ

(1) 道路の性能を表す評価指標の有効性

交通流ミクロシミュレーションプログラム SIM-R の感度分析により、2 車線道路及び「2+1 車線」型道路の性能評価として、サービスの質の変動を推計した。路面状態は、乾燥路面と圧雪路面の 2 条件とした。交通量は、片側の時間交通量 100 台/h～500 台/h を対象とした。乾燥路面状態及び圧雪路面状態ともに、2 車線道路に一定間隔で付加車線を設置すること、すなわち「2+1 車線」型道路を導入することにより、サービスレベルが向上することが確認された。評価指標として、平均旅行速度、追従率及び追従車密度を取り上げ、各指標の有効性について検討した。各指標ともに、道路のサービスレベルの評価指標として貢献することが示された。ただし、時間交通量が少なくかつ路面状態が良好な条件下でも、追従率は比較的高くなる傾向を示した。これに対し、追従車密度は、時間交通量が少なくかつ路面状態が良好なときは、低くなった。また、追従車密度は、時間交通量が多くかつ路面状態が悪い圧雪路面条件下で高くなった。

さらに、現道を活用し断続的に付加車線が設置された国道 40 号更喜苦内道路（稚内市～豊富町）を対象とし、交通データの実測を行った。交通実測データから、平均速度、追従率、追従車密度を集計した。圧雪条件下の比較的交通量の少ない条件において、追従車密度は適切にサービスの程度を表した。

このことから、追従車密度は、2 車線道路並びに「2+1 車線」型道路の効率性を評価するに際し、より適切かつバランスのよい評価指標であると考えられる。付加車線の間隔などの検討のため、乾燥路面と圧雪路面別にサービス目標値として追従車密度を活用することは有効である。

(2) 通常期の乾燥路面並びに積雪期の圧雪路面を踏まえたサービス水準の考え方

積雪寒冷地における 2 車線道路並びに「2+1 車線」型道路の効率性を評価するに際しては、通常の乾燥路面状態に加えて、積雪期の圧雪路面状態も考慮し、検討することが求められる。圧雪路面状態では、乾燥路面状態と比べて、当該道路のサービスの質は低下する。本研究では、追従車密度を評価指標として設定し、サービス水準を設定することを試行した。なお、追従の定義について、乾燥路面は「前車と後車の車頭間隔 3.0 秒以下」、圧雪路面は「前車と後車の車頭間隔 4.5 秒以下」とした。2 車線道路のサービス水準は、米国オレゴン州運輸局による追従車密度の閾値を参考とした。追従車密度の評価指標を活用し、その道路に求められるサー

ビス水準の性能に合致した道路構造を適用することが必要とされる。

本研究を通じ、時間交通量 200 台/h の場合、片側 1 車線道路に 3 km 間隔で付加車線を設置すると、効率的に追従車密度が低下し、サービスレベルが改善することが示された。乾燥路面のときはサービス水準が C から B へ、圧雪路面のときはサービス水準が D から C へ改善されるからである。なお、サービス水準別の追従車密度の閾値については、国内での実測データの取得を継続し、さらに信頼度の高いデータとすることが必要であると考えられる。

(3) 積雪期における「2+1 車線」型道路の実測データに基づく付加車線の設置効果

国道 40 号更喜苦内道路（稚内市～豊富町）を事例研究とし、実測調査を行った。平成 25 年 12 月に、片側 1 車線道路～片側 2 車線道路（KP227.5～KP229.5）を対象とし、路側のビデオカメラから、圧雪路面状態の交通調査を行った。地点 1～地点 5 の 5 断面について、上り方向（稚内→豊富、片側 2 車線：3 地点、片側 1 車線：2 地点）、下り方向（豊富→稚内、片側 1 車線：5 地点）の交通データを実測し、平均速度、追従率及び追従車密度を集計した。上り方向では、片側 1 車線道路に付加車線を設置することにより、平均速度は向上し、追従率及び追従車密度が低下し、サービスの質が改善した。すなわち、実測データから算出した各評価指標により付加車線の設置効果が示された。本実測調査実施後の平成 26 年 7 月から、本実験区間を含む延長 $L = 3.7$ km が一般道路の規制速度の決定方法に基づき、規制速度 70 km/h が運用されるに至った。

なお、国道 40 号更喜苦内道路の付加車線はゆずり方式で運用されている。地域協働ワークショップの中で、現道を活用しながら農耕車などの低速車両の走行を確保する等を理由に同方式が採用された。完全なる「2+1 車線」道路は、付加追越車線が交互に連続する道路である。本研究の対象とした国道 40 号更喜苦内道路は、ゆずり方式の付加車線が断続的に配置される道路であることから「2+1 車線」道路に近い構造として、「2+1 車線」型道路という表現を用いた。国道 40 号更喜苦内道路は、将来的に付加追越方式への可変の可能性も模索しながら、引続き、現地観測を継続する予定である。

6. おわりに

国道 40 号更喜苦内道路（稚内市～豊富町： $L = 18.7$ km）内の上り、下り方向の各 3 箇所の付加車線設置が完成し、本線の全区間が開通したのは、平成 26 年 11 月であった。全区間開通後の本道路も含めて、北海

道地方部の2車線道路及び「2+1車線」型道路の交通実測を続けながら、サービスの質を表す評価指標である追従車密度について、雪害時などのデータも蓄積する予定である。さらに、積雪寒冷地の2車線道路のサービスの質に関する知見を深め、サービス水準の構築を目指していきたい。また、付加車線の設置箇所と延長の関係性の分析についても、取り組んでいく所存である。

参考文献

- 1) 国土交通省北海道開発局：道路現況調書，2013.
- 2) Harwood, D. W. and Hoban, C. J. : Low Cost Methods for Improving Traffic Conditions on Two-Lane Roads—Informational Guide, Report FHWA-IF-87/2, U.S. Department of Transportation, Washington D.C., 1987.
- 3) Ray Derr, B. : Application of European 2+1 Roadway Designs, NCHRP Research Result Digest, 2003.
- 4) 中村英樹, 小林正人, Jerome L. CATBAGAN : 追従車密度を考慮した往復2車線道路における付加追越車線の設置水準に関する研究, 土木学会論文集 D3, Vol. 67, No. 3, pp. 270-282, 2011.
- 5) 佐藤光, 鶴東俊哉, 清水哲夫, 高橋清 : 避讓車線設置区間における車両挙動, 第34回土木計画学研究発表会・講演集, 2006.
- 6) 宗広一徳, ほか : 北海道地方部における付加車線の設置効果及び除雪工法に関する研究, 土木研究所資料, 第4286号, 2014.
- 7) Munehiro, K., Kami'izumi, T., Sasaki, M., Uzuka, T. and Asano, M. : Traffic Simulation of a Rural 2+1 Highway in Hokkaido, *Transport Simulation—Beyond Traditional Approaches*—, EPFL Press, Lausanne, 2009.
- 8) Takemoto, A., Munehiro, K., Takahashi, N., Kasai, S., Yamamoto, S., Tsutsumi, K. : Construction of passing-maneuver model on two-lane highway with consideration of road surface and visibility condition, *Journal of the Transportation Research Board*, No. 2258, TRB, 2012.
- 9) 宗広一徳, 武本東, 高橋尚人, 渡邊政義 : 積雪寒冷地における地方部の「2+1」車線道路の性能評価の試行, 寒地土木研究所月報, No. 709, 2012.
- 10) Highway Capacity Manual 2010 : TRB of the National Academies, Washington D.C., 2010.
- 11) Brilon, W. and Weiser, F. : Two-Lane Rural Highways : The German Experience, *Journal of the Transportation Research Board*, No. 1988, TRB, 2006.
- 12) Ahmed Al-Kaisy and Sarah Karjala : Indicators of performance on two-lane rural highways empirical investigation, *Journal of the Transportation Research Board*, No. 2071, TRB, 2008.
- 13) Van As, C. : The Development of an Analysis Method for the Determination of Level of Service on Two-Lane Undivided Highways in South Africa, Project Summary, South African National Roads Agency, Limited, Pretoria, 2003.
- 14) Catbagan, L. J. and Nakamura, H. : Evaluation of performance measures for two-lane expressways in Japan, *Journal of Transportation Research Board*, No. 1988, TRB, 2006.
- 15) 谷口雄紀, 河門前勝巳, 名古屋幸人 : 国道40号更喜苦内防雪の道づくり—地域特性を活かした「北海道スタンダード」—, 平成27年度北海道開発局技術研究発表会, 2016.
- 16) 北海道開発局 : 平成17年度全国道路交通情勢調査(道路交通センサス)一般交通量調査箇所別基本表, 2006.
- 17) AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), A Policy Geometric Design of Highways and Streets, 2011.
- 18) Tokunaga, R., Takahashi, N., Munehiro, K. and Asano, M. : Road surface friction usage to monitor and evaluate the winter roadway performance, *Proceedings of the 9th International Symposium on Cold Region Development*, Yakutsk, Russia, 2010.
- 19) Munehiro, K., Takemoto, A., Watanabe, M. and Asano, M. : Performance evaluation for rural two-plus-one-lane highway in a cold, snowy region, *Journal of the Transportation Research Board*, No. 2272, pp. 162-172, TRB, 2012.
- 20) Kunz, J. and Lemke, K. : Challenges of future traffic growth in Germany, *Country Reports of 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service*, Stockholm, 2011.
- 21) Oregon Department of Transportation : Modeling Follower Density on Two-Lane Rural Highways, 2014.
- 22) 気象庁 : 各種気象データ・資料, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, April 2015.
- 23) 警察庁 : 「交通規制基準」の一部改正について, 警察庁内規発第23号, 2009.

(2016. 2. 26 受付)

PERFORMANCE EVALUATION OF “2+1 LANE” HIGHWAY IN HOKKAIDO

Kazunori MUNEHIRO, Tetsuya TAKADA, Tateki ISHIDA and Takeshi MATSUDA

In Hokkaido, as an efficient improvement that affords high-quality service for road users, the intermittent installation of an additional lane to existing two-lane highways (i.e., the creation of “2+1 lane” highways) has been adopted. In this study, the following were targeted as indexes of quality of service for performance evaluation of the road: average traveling speed, follower percent and follower density. Using these indexes, the quality of service achieved by the placement of an additional lane was shown by traffic flow simulations and onsite measurements. Two road surface conditions were observed: dry, and compacted snow. Using follower density as an evaluation index, classification of the service level of a two-lane highway in a cold, snowy region was determined. A case study was conducted on the Saraki-Tomanai section of National Highway 40 (between Wakkanai City and Toyotomi Town) in which that section was installed with an additional lane at regular intervals and the following density was measured when the road surface was dry and when it was compacted snow. The measurements demonstrated that the improved road afforded a service level of “A,” even when the road surface was compacted snow.