

北勢バイパス完成に伴う采女～川越間の所要時間短縮について —所要時間短縮幅と道路建設コストから見る北勢バイパス最適車線数の決定—

2008MI189 大西拓郎 2008MI224 島田昂紀

指導教員：澤木勝茂

1 はじめに

私たちは三重県北部に住んでおり、大学に入学してから自動車免許を取ったことで、三重県北部で生活する上でいつも皆を悩ませる問題に直面するようになった。

その問題が、国道1号線と国道23号線において毎日発生する渋滞である。この渋滞は平日の通勤時間はもちろん、休日でも大変な渋滞を発生させる。この渋滞によって、私たちも多大な影響を受けるが、さらに困らされているのが四日市コンビナートを行き来する産業関係の大型車である。

また、近年完成した新名神高速道路の影響を受け、東名阪高速道路の亀山IC～四日市IC間が渋滞するようになったことでさらに下道を使う通勤車両などが増えたことが、一般道路に悪影響を与えることになった。

この状況を踏まえ、新しく北勢バイパスが完成した時にどの程度交通量が分散し、渋滞が緩和できるのか検証していく。

2 問題の定義

2.1 言葉の定義

● 渋滞

渋滞とは、平均旅行速度が20.0km/h以下となることである。

● 渋滞損失額

渋滞損失額とは、1時間ごとの平均の車両1台当たりの渋滞損失時間に、その1時間の交通量を掛け、さらに時間価値を掛けて、金額換算したものである。

渋滞損失額 =

$\{(\text{実際の旅行時間} - \text{基準旅行時間}) \times \text{交通量} \} \times \text{時間価値}$

なお、本稿では時間価値は国土交通省が定めた「乗用車1台当たり62.86(円/分)」を利用し、基準旅行時間は道路時刻表に従うものとする。

2.2 変数の定義

● 記号の説明

a: 国道1号線の交通量がゼロのときの所要時間

b: 国道23号線の交通量がゼロのときの所要時間

c: 北勢バイパスの交通量がゼロのときの所要時間

x: 国道1号線の混雑ピーク時における経路交通量

y: 国道23号線の混雑ピーク時における経路交通量

z: 北勢バイパスの混雑ピーク時における経路交通量

t_1 : 国道1号線の平均旅行時間

t_2 : 国道23号線の平均旅行時間

t_3 : 北勢バイパスの平均旅行時間

α : 国道1号線の抵抗係数

β : 国道23号線の抵抗係数

γ_1 : 北勢バイパス(片側1車線)の抵抗係数

γ_2 : 北勢バイパス(片側2車線)の抵抗係数

抵抗係数とは、その道路の交通容量や実際の交通量から算出される係数のことである。

単純に、その道路の「進みにくさ」を表す値である。この値が大きくなるほど進みにくくなる。

2.3 抵抗係数の算出方法

本研究において、抵抗係数を以下のように算出する。

抵抗係数 =

$(\text{実際の旅行時間} - \text{交通量ゼロ時の旅行時間})$

$/ \text{経路交通量}$

2.4 利用者均衡配分法とは

利用者均衡状態というのは、

・ドライバーは経路に関する情報を完全に得ている。

・ドライバーは最短経路を選択する。

という前提条件の下で各ドライバーが経路を選択していった結果、生じる状態のことをいう。

そして、配分していった結果が利用者均衡状態になるような配分方法のことを「利用者均衡配分」という。

また、交通ネットワークにおける2つの均衡が存在する。1つ目が「等時間配分原理(Wardropの第一原理)」、2つ目が「総走行時間最小化配分原理(Wardropの第二原理)」である。

● 等時間配分原理(Wardropの第一原理)

・利用されている経路の旅行時間は皆等しく、利用されない経路の旅行時間よりも小さいか、せいぜい等しい。

・ドライバーは旅行時間の短い経路を選択する。

● 総走行時間最小化配分原理(Wardropの第二原理)

・道路ネットワーク上の前交通の旅行時間の和が最小となる。

・都市管理者の立場から見た最適。

2.5 定式化

国道1号線、国道23号線、北勢バイパスの各道路について、旅行時間・交通量ゼロ時の旅行時間・交通量・道路の抵抗係数を用いて以下のように定式化する。

● 国道1号線

$$t_1 = a + \alpha x \quad (1)$$

● 国道 23 号線

$$t_2 = b + \beta y \quad (2)$$

● 北勢バイパス

$$t_3 = c + \gamma z \quad (3)$$

この 3 つの式を基本に、次章から道路状況を求めていく。下に簡略化した経路図を示す。



図 1 経路図

3 采女～川越間の現状について

-国道 1 号線-

総距離 : 16.7 km
 経路交通量 (混雑ピーク時) : 578 台/時
 基準旅行時間 : 40 分

-国道 23 号線-

総距離 : 14.5 km
 経路交通量 (混雑ピーク時) : 1704 台/時
 基準旅行時間 : 27 分

ここでは交通量ゼロの時は常に制限速度で走行しているものとする、交通量ゼロの時の旅行時間 a, b それぞれの値は、

$$a = 22.65(\text{分}) \quad b = 18.27(\text{分})$$

となる。

次に国道 1 号線、国道 23 号線それぞれの抵抗係数を算出する。

各々の道路の混雑ピーク時における平均旅行速度はそれぞれ、19.7(km/h), 17.1(km/h) というデータから、それぞれの道路の抵抗係数は、

$$\alpha = 0.0486 \quad \beta = 0.0191$$

となる。

これらの数値を用いて国道 1 号線、国道 23 号線の現状での混雑ピーク時における平均旅行時間を求めると、

- ・ 国道 1 号線 $t_1 = 50.74(\text{分})$
- ・ 国道 23 号線 $t_2 = 50.82(\text{分})$

となる。

現状での 2 経路合わせた采女～川越区間の平均旅行時間を求めてみると、

$t_1 = t_2$ より、50.795(分) となっている。

以上より、現状では国道 1 号線では基準時間より約 8 分、国道 23 号線にいたっては基準時間より約 24 分もの時間が余分にかかってしまうことが分かる。

ここで渋滞損失額をそれぞれ計算してみると

- ・ 国道 1 号線 約 390,000(円/時)
 - ・ 国道 23 号線 約 2,551,000(円/時)
- となる。

4 利用者均衡配分モデルによる比較

4.1 モデル 1(北勢バイパス片側 1 車線の場合)

片側 1 車線の時のモデルは岡山県の「米子自動車道」にした。この道路のデータを基に抵抗係数を算出する。

「米子自動車道」のデータより抵抗係数 γ_1 を計算すると、 $\gamma_1 = 0.0365$ となる。

よって、北勢バイパス (片側 1 車線) の抵抗係数 γ_1 は、 $\gamma_1 = 0.0365$ となる。

ここで、抵抗係数を求めたので北勢バイパス (片側 1 車線) をモデル化してみる。

$$\begin{cases} t'_1 = 22.65 + 0.0486x' \\ t'_2 = 18.27 + 0.0191y' \\ t'_3 = 21 + 0.0365z' \\ t'_1 = t'_2 = t'_3 \end{cases}$$

このモデルを使って、現状から短縮できる旅行時間を求める。

北勢バイパス完成時の交通量は、国土交通省のデータを基にして、現状の 1.213 倍になると予測値を出した。

現状は、国道 1 号線 (采女) が 952 台、国道 23 号線 (采女) が 1238 台なので、北勢バイパス完成時には、2656(台)であると予測する。よって利用者均衡状態になるように自動車の台数を振り分けて、それぞれの道路での旅行時間を計算すると、

$$t'_1 = 46.270(\text{分}) \quad t'_2 = 46.5381(\text{分}) \\ t'_3 = 46.185(\text{分})$$

となる。

よって $t'_1 = t'_2 = t'_3$ より、北勢バイパスが片側 1 車線で完成した場合の平均旅行時間は、46.3147 分となる。

現状では 50.795 分かかっていたため、4.4803 分短縮された。また、削減できる渋滞損失額は 1 時間に約 745,000 円となる。

4.2 モデル 2(北勢バイパス片側 2 車線の場合)

片側 2 車線の場合のモデルは「東名阪自動車道 (亀山 IC ~ 四日市 IC)」とした。よってこの道路のデータを基に抵抗係数を計算していく。

「東名阪自動車道(亀山IC~四日市IC)」のデータより、抵抗係数 γ_2 を計算すると、 $\gamma_2 = 0.0146$ となる。

こちらと同じ片側2車線である国道23号線の抵抗係数 $\beta = 0.0191$ と比較しても小さな値となった。この値を北勢バイパス(片側2車線)の抵抗係数として利用する。

よって、北勢バイパス(片側2車線)の抵抗係数は $\gamma_2 = 0.0146$ とする。

ここで抵抗係数を求めたので、北勢バイパス(片側2車線)をモデル化してみると、以下ようになる。

$$\begin{cases} t_1'' = 22.65 + 0.0486x'' \\ t_2'' = 18.27 + 0.0191y'' \\ t_3'' = 21 + 0.0146z'' \\ t_1'' = t_2'' = t_3'' \end{cases}$$

このモデルを使って、現状から短縮できる旅行時間を求める。

ここから先ほどと同様に3つの道路に、各々の旅行時間が同程度(利用者均衡状態)になるように自動車の台数を振り分けて計算すると、それぞれの道路での旅行時間は、

$$\begin{aligned} t_1'' &= 38.9796(\text{分}) & t_2'' &= 39.28(\text{分}) \\ t_3'' &= 38.812(\text{分}) \end{aligned}$$

のようになる。

よって $t_1'' = t_2'' = t_3''$ より、北勢バイパスが片側2車線で完成した場合の平均旅行時間は、39.02分となる。現状では50.795分かかっていたため、11.775分短縮された。また、削減できる渋滞損失額は、約1,965,000(円)となり、混雑ピークの1時間に約1,965,000円削ることができる。

4.3 モデル1とモデル2の比較

以上の結果を基に、北勢バイパスの建設コストと削減できる渋滞損失額を比較していく。片側1車線での建設費用は1,050(億円)、片側2車線での建設費用は1,300(億円)となっているので、建設コストは片側2車線を建設するには片側1車線の1.238倍コストがかかる。しかし、削減できる渋滞損失額は、下図に示したように2.638倍にもなっている。

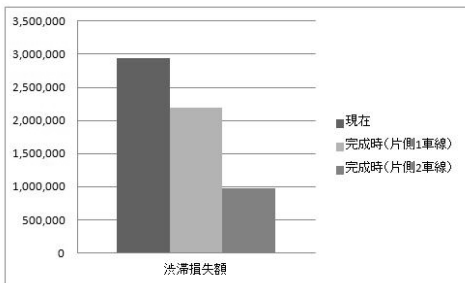


図2 現在と完成時における渋滞損失額の比較(単位:円)

5 待ち行列モデルによる分析

北勢バイパスが片側1車線または片側2車線で完成したときの、北勢バイパスの終端と国道1号線が接続する川越町交差点において待ち行列モデルを作成する。そして、この交差点において、北勢バイパスと国道1号線が接続する地点である四日市采女から走行してきた車の交通量に着目し、交差点への到着交通量を変化させ、発生する待ち時間のシミュレーションを行う。

このシミュレーションを行う目的は、北勢バイパスが完成したときには混雑する地点であると考えられるこの交差点における信号のサービス率を求め、どの程度の待ち時間が発生するのかを分析することである。また、この交差点への車の到着率は利用者均衡配分で算出した交通量を基準として導き、到着率も変化させながら分析をおこなっていく。

5.1 モデルの説明

この待ち行列における具体的なサービスは、1台の車が交差点(停止線をスタートラインとする)に進入し、完全に交差点を抜け切るまでをサービスとするというものである。さらに赤信号と青信号の間にやってくる車を次の赤信号までにはすべて行かせるものとし、赤信号が開始するときには、車は0台で待ち行列を作っていないものとする。

そして赤信号と青信号の点灯時間を、北勢バイパスが片側1車線の場合は、それぞれ60秒、120秒、また北勢バイパスが片側2車線の場合はそれぞれ100秒、200秒に設定する。また、今回は交差点に進入し抜け切るまでをサービスとして考えるため、片側1車線の場合も片側2車線の場合もそれぞれM/M/1待ち行列として扱う。

以下に、この待ち行列モデルの図を示す。

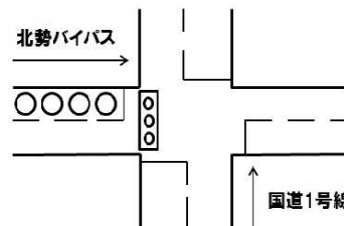


図3 赤信号と青信号の点灯時間中

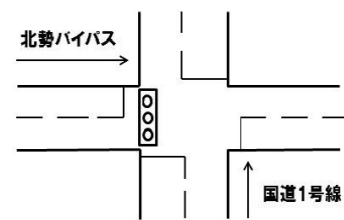


図4 青信号から赤信号に変わった瞬間

5.2 記号の説明

λ_1 :北勢バイパスが1車線の場合における平均到着率
 λ_2 :北勢バイパスが2車線の場合における平均到着率
 μ_1 :北勢バイパスが1車線の場合における平均サービス率
 μ_2 :北勢バイパスが2車線の場合における平均サービス率
 L_{q1} :北勢バイパスが1車線の場合における行列の平均長
 L_{q2} :北勢バイパスが2車線の場合における行列の平均長
 W_{q1} :北勢バイパスが1車線の場合における平均待ち時間
 W_{q2} :北勢バイパスが2車線の場合における平均待ち時間
 ρ_1 :北勢バイパスが1車線の場合における利用率
 ρ_2 :北勢バイパスが2車線の場合における利用率
 P_1 :北勢バイパスが1車線の場合における待たされる確率
 P_2 :北勢バイパスが2車線の場合における待たされる確率

5.3 モデル1：北勢バイパスが片側1車線の場合

片側1車線の場合における交差点への到着交通量を、650台/時から740台/時の間で、10台/時ごとに変化させていく。この計算結果を下表にまとめる。

表1 片側1車線の場合のシミュレーション結果その1

単位:台/時	650	660	670	680	690
λ_1 (台/秒)	0.181	0.183	0.186	0.189	0.192
μ_1 (台/秒)	0.270	0.275	0.279	0.284	0.288
W_{q1} (秒)	74.87	72.33	71.68	70.05	69.44
L_{q1}	1.36	1.32	1.33	1.32	1.33
ρ_1	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
P_1	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67

表2 片側1車線の場合のシミュレーション結果その2

単位:台/時	700	710	720	730	740
λ_1 (台/秒)	0.194	0.197	0.200	0.203	0.206
μ_1 (台/秒)	0.291	0.296	0.300	0.304	0.308
W_{q1} (秒)	68.72	67.23	66.67	66.12	65.57
L_{q1}	1.33	1.32	1.33	1.34	1.35
ρ_1	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
P_1	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67

5.4 モデル2：北勢バイパスが片側2車線の場合

片側2車線の場合における交差点への到着交通量を、1170台/時から1260台/時の間で10台/時ごとに変化させていく。この計算結果を下表にまとめる。

表3 片側2車線の場合のシミュレーション結果その1

単位:台/時	1170	1180	1190	1200	1210
λ_2 (台/秒)	0.325	0.328	0.331	0.333	0.336
μ_2 (台/秒)	0.488	0.492	0.496	0.499	0.504
W_{q2} (秒)	41.03	40.65	40.44	40.20	39.68
L_{q2}	1.33	1.33	1.34	1.34	1.33
ρ_2	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
P_2	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67

表4 片側2車線の場合のシミュレーション結果その2

単位:台/時	1220	1230	1240	1250	1260
λ_2 (台/秒)	0.339	0.342	0.344	0.347	0.35
μ_2 (台/秒)	0.508	0.512	0.517	0.521	0.525
W_{q2} (秒)	39.49	39.29	38.46	38.28	38.10
L_{q2}	1.34	1.34	1.32	1.33	1.33
ρ_2	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
P_2	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67

6 おわりに

北勢バイパスにおける渋滞損失額と建設コストを比較したとき、片側2車線の建設コストは片側1車線の建設コストと比較すると1.238倍掛かってしまうが、削減できる渋滞損失額を比較すると、片側2車線の方が片側1車線に比べて2.638倍も削減できる。よって、片側2車線で建設した方が建設コストを掛ける価値がある。

次に、待ち行列モデルによるシミュレーションの結果、北勢バイパスが片側1車線の場合、川越町交差点における信号渋滞の平均待ち時間は約69秒、また北勢バイパスが片側2車線の場合は、約40秒となった。

片側2車線の場合の方が平均待ち時間が短くなる理由としては、やはり車線数が多いため片側1車線の場合と比較して、自動車の走行速度が速くなること、また、右折用信号などの設置によって、直進する自動車が交差点を抜け切る時間が短縮されることなどが挙げられる。

以上のように2つの観点から考察、分析した結果、北勢バイパスは、片側1車線で建設するよりも片側2車線で建設した方が良いと言える。

7 参考文献

- [1] 土木学会 土木計画学研究委員会, 交通需要予測技術検討小委員会 委員長 太田 勝敏: 『道路交通需要予測の理論と適用 第I編 道路交通需要予測の理論と適用』. 社団法人 土木学会, 東京
- [2] 土木学会 土木計画学研究委員会, 交通需要予測技術検討小委員会 委員長 太田 勝敏: 『道路交通需要予測の理論と適用 第II編 利用者均衡配分モデルの展開』. 社団法人 土木学会, 東京
- [3] 小和田 正, 澤木 勝茂, 加藤 豊: 『OR入門』. 実教出版, (1984)
- [4] 国土交通省中部地方整備局 北勢国道事務所ホームページ
<http://www.cbr.mlit.go.jp/hokusei/>
- [5] NEXCO 西日本ホームページ
<http://www.w-nexco.co.jp/>
- [6] NEXCO 中日本ホームページ
<http://www.c-nexco.co.jp/>
- [7] 三重県の道路
<http://www.pref.mie.lg.jp/DOROKI/HP/>
- [8] 道路時刻表 中部版 <http://www.cbr.mlit.go.jp/>