

CARACTERISTIQUES DE LA CIRCULATION ROUTIERE EN HIVER DANS L'ILE DE HOKKAIDO: LE CAS DE LA ZONE METROPOLITAINE DE SAPPORO

Yoichi Azuta*, Motoki Asano*, Wataru Takahashi**

*Institut de recherche en ingénierie civile, Bureau du développement régional de Hokkaido
Hiragishi 1-jo 3-chome, 1-34, Toyohiha, Sapporo
Tél: +81-11-841-1738 Fax: +81-11-841-9747

**Bureau du développement régional de Hokkaido, Ministère du territoire,
des transports et des infrastructures
North 8 West 2, Kita, Sapporo
First Government Office Building
Tél: +81-11-709-2311 Fax: +81-11-709-2144

Introduction

Le Grand Sapporo, dont la population dépasse les deux millions d'habitants, est le coeur de la préfecture de Hokkaido. Quoique située à une latitude plus méridionale que la majeure partie de l'Amérique du Nord et de l'Europe, elle connaît un climat froid avec des chutes annuelles de neige de près de 5 mètres. Etant donné la taille de la zone métropolitaine de Sapporo, y assurer de bonnes conditions de circulation routière pendant des hivers rudes représente un véritable défi.

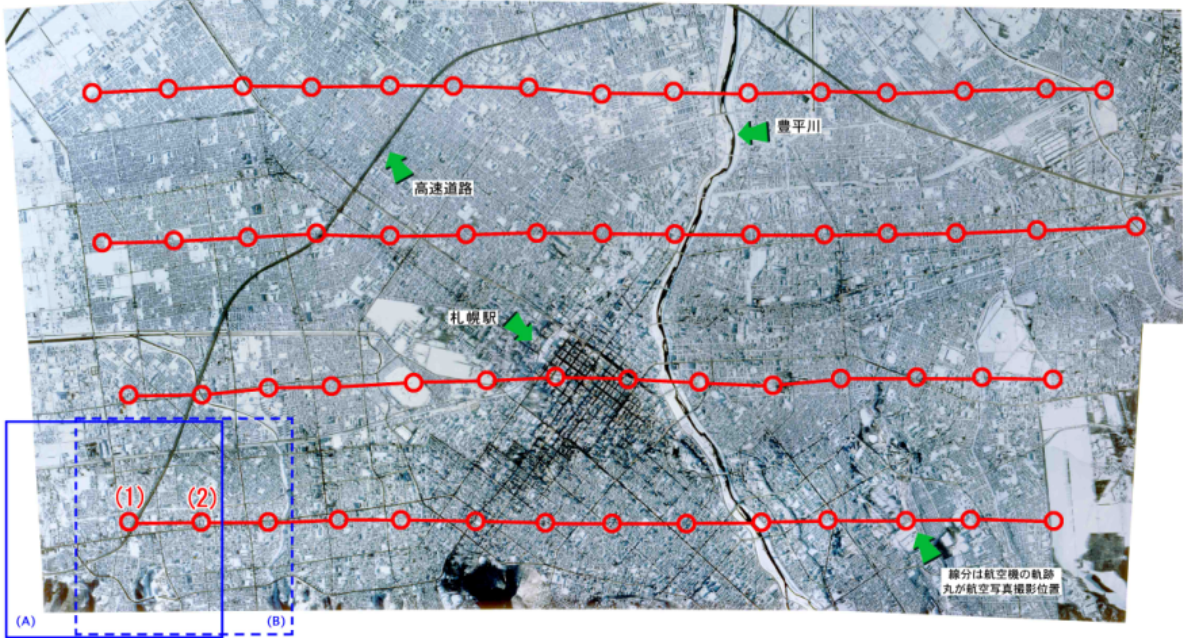
Pour déterminer la situation actuelle dans le Grand Sapporo, une étude empirique a été réalisée sur les conditions des routes en hiver, et une étude par photographie aérienne a été utilisée comme méthode de recherche expérimentale. Nous en avons examiné la validité comme méthodes d'enquête sur les routes en hiver. L'examen des résultats a fourni les principales caractéristiques de la circulation routière en hiver dans la zone métropolitaine de Sapporo et quelques considérations sur les mesures à envisager.

1. Description générale de l'étude

Des prises de vue aériennes ont été effectuées à 4 reprises au cours de l'été et de l'hiver des années 1994 et 1999. Les photographies de l'année 1994/1995 ont été effectuées le mardi 4 octobre et le jeudi 26 janvier, entre 8 et 9 heures du matin, d'une altitude de 2000 mètres, avec la résolution d'une carte topographique à l'échelle 1:12.500. Celles de l'année 1999/2000 ont été prises à peu près à la même heure le mardi 22 septembre 1999 et le jeudi 24 février 2000. Les photographies de 1994/1995 couvrent une superficie de quelque 180 km², celles de 1999/2000 environ 200 km². Elles couvrent pratiquement toute l'agglomération très peuplée de Sapporo. Elles permettent d'identifier l'emplacement de tous les véhicules sur les routes. De plus, comme chaque photographie recoupe 60% de la photographie suivante, les véhicules ont été identifiés sur la partie en chevauchement, ce qui a permis d'en calculer la vitesse de déplacement, sachant que les prises de vue ont été réalisées à 20 secondes d'intervalle environ. Ensuite, la vitesse de déplacement de chaque véhicule a été multipliée par la distance par rapport au véhicule de tête pour obtenir le volume de trafic. (En général, le volume et la densité du trafic ne sont pas obtenus par véhicule, mais la photographie aérienne permet de les calculer). Ces vues aériennes ont fourni des données sur la localisation, la vitesse, le volume de trafic

et la densité de la circulation pour chaque véhicule identifié, et les données ont été introduites dans le système GIS (Système d'information générale).

La figure 1 montre un montage de photographies aériennes prises en 1994/1995 sur une superficie de 180 km² environ. La photographie (1) recouvre la zone intitulée (A). La photographie aérienne (2) a été prise environ 20 secondes après la (1) et sa zone est intitulée (B). La zone de la photographie (A) recouvre (B) à 60% et la vitesse d'un véhicule choisi de façon aléatoire est obtenue à partir de ces données. La vitesse a été calculée pour 32.691 véhicules sur un total de 34.081 pendant l'été 1994, et pour 29.003 véhicules sur 30.158 pendant l'hiver 1994/1995; puis pour 31.940 véhicules sur 39.999 pendant l'été 1999 et pour xxx véhicules sur xxx à l'hiver 2000. En d'autres termes, plus de 95% des véhicules ont été analysés. Dans l'analyse de 1994, les véhicules n'ont pas été étudiés par voie et les données n'ont pu faire l'objet d'un examen plus détaillé. En revanche, cela a été possible pour 1999/2000. L'étude montre qu'il est intéressant de procéder à une analyse fine des données des années 1994/1995 et 1999/2000.



Season	Date	Time	Area of survey	Total length of route subject to analysis
Summer	Oct. 4, 1994 (Tue.)	8:08 - 8:48 a.m.	Approx. 181 km ²	424.78 km
Winter	Jan. 26, 1995 (Thurs.)	8:32 - 8:59 a.m.	Approx. 175 km ²	424.78 km

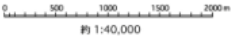


Figure 1. Whole survey area of aerial photography survey(winter)
The photograph is made from combining all photographs taken at a time.

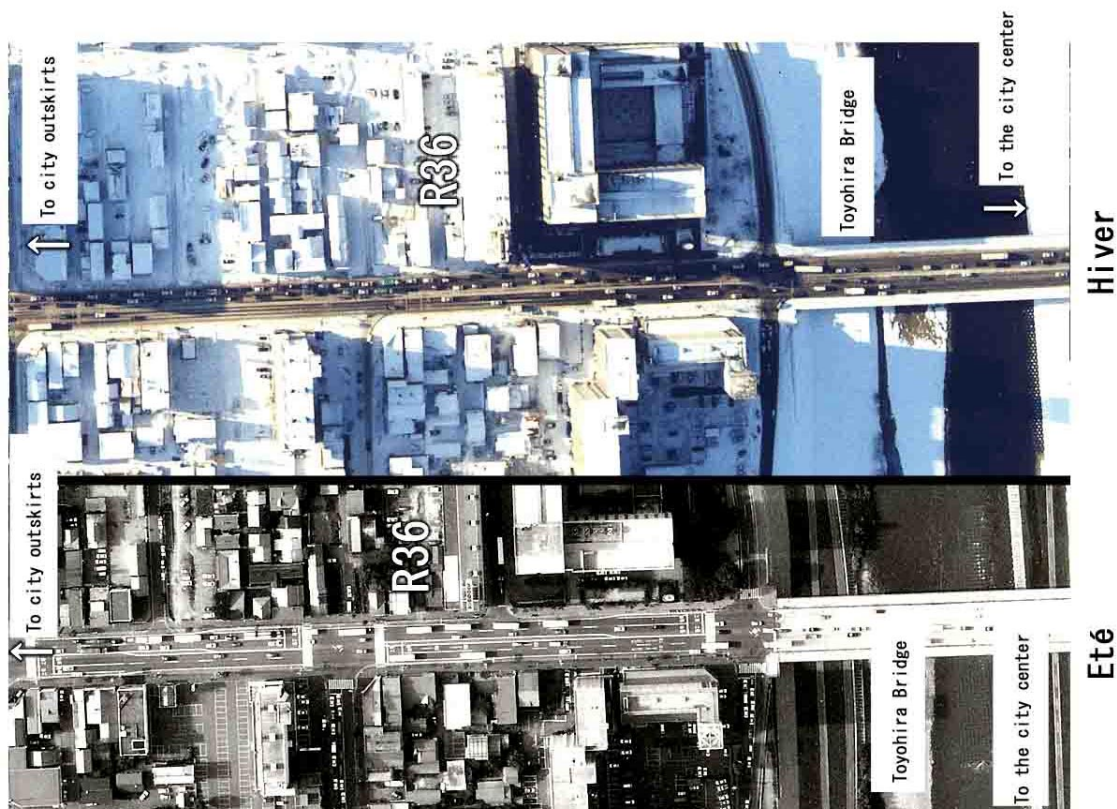


Figure 2. Photographie aérienne de la Route Nationale 36

2. Méthodologie

Les prises de vue aériennes ont fourni des données sur la vitesse de déplacement, la densité de la circulation et le volume du trafic pour chaque véhicule. Pour calculer la densité et le volume du trafic, il a fallu diviser la route en plusieurs sections, car la photographie aérienne fournit des données à un moment précis. Ce procédé permet d'établir une moyenne des conditions de circulation sur la route analysée, mais ne donne pas les caractéristiques locales de certaines sections. De ce fait, il est difficile de tirer parti de l'avantage que présentent les photographies aériennes (voir ci-après). De plus, si une section est trop courte, les valeurs obtenues varient énormément, surtout en hiver, en raison d'un plus grand espacement entre véhicules. Ainsi, les données par véhicule sont obtenues à partir de l'espacement S et de la distance L (distance parcourue par un véhicule en 20 secondes environ) de la façon indiquée ci-après. Ensuite, les caractéristiques de la circulation dans chaque zone locale sont déterminées :

$$\text{vitesse (km/h)} = L \text{ (km)} / 20 \text{ (sec.)} / 360$$

$$\text{densité de trafic (véhicule/km)} = 1 \text{ (km)} / S \text{ (km)}$$

$$\text{volume de trafic (véhicule/h)} = \text{densité de trafic (véhicule/km)} \times \text{vitesse (km/h)}$$

3. Analyse des données de l'année 1994/1995

Le tableau 1 indique les conditions de circulation dans chaque quartier de la ville de Sapporo en 1994/1995. Il y avait 34.000 véhicules l'été et 30.000 l'hiver, et la densité du trafic en hiver était

légèrement inférieure à celle de l'été. Ceci vient de ce que le nombre de véhicules qui peuvent se trouver sur la route diminue parce que l'espacement entre véhicules augmente. Mais on voit que les besoins en circulation de véhicules sont quasiment les mêmes en hiver et en été. Par contre, le volume du trafic en hiver est nettement moindre qu'en été parce que la circulation fonctionne beaucoup moins bien. Prenons l'exemple du quartier de Toyohira. Le volume y augmente malgré une diminution du nombre de véhicule dans les autres quartiers. Ceci est dû à la concentration des véhicules en hiver sur des grands axes comme les routes nationales.

Tableau 1 Comparaison macroscopique des conditions de circulation en 1994/1995

Quartiers		Longueur (m)	Nombre de véhicules (véhicules)	Densité du trafic (véhicules/km)	Vitesse (km/h)	Volume du trafic (véhicules/h)
Chuo	Eté	89.6	7,802	22.2	19.6	434
	Hiver		7,684	21.8	11.8	258
	Hiver/été		0.98	0.98	0.60	0.59
Kita	Eté	78.7	5,249	18.8	22.3	418
	Hiver		4,364	14.9	14.8	221
	Hiver/été		0.83	0.79	0.66	0.53
Higashi	Eté	71.5	4,603	15.6	29.7	464
	Hiver		3,823	13.0	22.4	291
	Hiver/été		0.83	0.83	0.75	0.63
Shiroishi	Eté	72.3	6,577	22.8	23.9	545
	Hiver		5,112	17.7	18.3	324
	Hiver/été		0.78	0.78	0.77	0.59
Toyohira	Eté	78.7	5,326	18.2	26.0	473
	Hiver		5,573	19.0	15.3	292
	Hiver/été		1.05	1.04	0.59	0.62
Nishi	Eté	62.9	3,694	16.1	26.4	425
	Hiver		3,070	13.4	18.6	248
	Hiver/été		0.83	0.83	0.70	0.58
Zone totale de l'étude	Eté	473.7	34,081	18.8	24.1	453
	Hiver		30,158	16.6	16.1	267
	Hiver/été		0.88	0.88	0.67	0.59

Notes: Les quartiers de Minami, Atsubetsu et Teine ont été exclus de la liste étant donné les faibles distances soumises à l'analyse. Toutefois, ils sont repris dans les valeurs globales de l'étude.

Le tableau 2 compare 3 routes en 1994/1995 : la Route Nationale 36 (partant du centre ville), la Rue Higashi 8-chome (vers le centre ville) et le boulevard périphérique Kanjo. Le tableau montre que, malgré une baisse de la vitesse de déplacement des véhicules l'hiver, un plus grand nombre de véhicules étaient concentrés sur la

Tableau 2 Comparaison des 3 routes durant l'année 1994/1995

	Route Nationale 36 (partant du centre ville)		Rue Higashi 8-chome (vers le centre ville)		Boulevard périphérique Kanjo	
	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver
Nombre de véhicules (véhicules)	500	746	333	272	776	662
Vitesse moyenne de déplacement (km/h)	20	9	20	15	15	11
Densité moyenne (véhicules/km) (véhicules/km/voie)	88	140	107	70	123	103
Volume du trafic (véhicules/h) (véhicules/h/voie)	44	70	54	35	41	34
	1471	1103	1149	913	1206	845
	736	552	575	456	402	282

Route Nationale 36. Cela se produit parce que la Route Nationale 36 a une signalisation bien maîtrisée et un système de déneigement développé. Ce phénomène révèle que les automobilistes ont tendance à emprunter des routes mieux entretenues l'hiver.

4. Comparaison des données du recensement de 1994 avec les données des prises de vue aériennes

Le tableau 3 compare les données du recensement de 1994 avec celles des photographies aériennes de l'été 1994. Les données du recensement ont été recueillies dans le cadre d'une étude nationale sur la circulation routière visant à analyser les volumes du trafic et les conditions de circulation dans l'ensemble du pays, ainsi qu'à obtenir des données de base sur la planification, la construction, l'entretien, la réparation et la gestion des routes. Les enquêteurs positionnés en différents endroits ont visuellement observé toutes les routes nationales et préfectorales, et quelques grandes routes municipales. Ils ont enregistré le volume horaire de la circulation sur chaque route pendant une

Tableau 3 Comparaison des données du recensement de 1994/1995 avec les photographies aériennes

Saison	Nom de la route	Données du recensement				Données des photographies aériennes					
		Vitesse moyenne de déplacement	Volume du pic de circulation			Vers le centre ville		Vers l'extérieur		Total	
			Vers le centre ville	Vers l'extérieur	Total	Vitesse moyenne par section	Volume du trafic	Vitesse moyenne par section	Volume du trafic	Vitesse moyenne par section	Volume du trafic
Ete	RN 12	25.6	1.211	1.674	2.885	28.1 (1.10)	1.626 (1.34)	20.2 (0.79)	1.303 (0.78)	23.7 (0.93)	2.930 (1.02)
	RN 36	26.5	1.484	1.664	3.147	30.4 (1.15)	1.192 (0.80)	19.9 (0.75)	1.300 (0.78)	24.3 (0.92)	2.492 (0.79)
	RN 230	25.6	1.423	2.035	3.458	13.4 (0.52)	877 (0.62)	15.5 (0.61)	1.145 (0.56)	14.6 (0.57)	2.022 (0.58)
	Rue Higashi 8-ohone	16.5	899	938	1.837	21.7 (1.31)	1.052 (1.17)	23.4 (1.41)	1.492 (1.59)	22.6 (1.37)	2.544 (1.38)
	Total des routes soumises à l'analyse	24.0	1.798	1.766	3.564	17.1 (0.71)	1.009 (0.56)	15.1 (0.63)	766 (0.43)	16.2 (0.68)	1.775 (0.50)
	Extrait	23.2	1.395	1.479	2.874	20.8 (0.89)	1.113 (0.80)	17.7 (0.76)	1.039 (0.70)	19.0 (0.82)	2.153 (0.75)
Extrait	RN 12	11.7	1.170	928	2.098	15.0 (1.28)	676 (0.58)	11.8 (1.01)	728 (0.78)	13.0 (1.11)	1.404 (0.67)
	RN 36	13.4	1.610	1.663	3.273	20.2 (1.51)	786 (0.49)	9.5 (0.71)	648 (0.39)	12.4 (0.93)	1.434 (0.44)
	RN 230	15.8	1.663	1.295	2.958	21.1 (1.33)	764 (0.46)	14.5 (0.92)	807 (0.62)	16.9 (1.07)	1.571 (0.53)
	Rue Higashi 8-ohone	16.3	608	611	1.219	16.9 (1.04)	885 (1.46)	10.4 (0.64)	749 (1.23)	12.8 (0.79)	1.635 (1.34)
	Total des routes soumises à l'analyse	16.9	1.380	1.325	2.704	9.5 (0.56)	431 (0.31)	11.5 (0.68)	533 (0.40)	10.6 (0.63)	964 (0.36)
	Extrait	16.0	1.157	1.088	2.245	14.0 (0.87)	621 (0.54)	9.1 (0.57)	551 (0.51)	10.8 (0.67)	1.172 (0.52)

période de 24 heures. Pour les besoins du recensement, la pointe de référence est toujours le maximum horaire relevé.

Il était inévitable que des différences apparaissent lors de la comparaison des données du recensement et de celles des vues aériennes. En effet, la photographie aérienne et la collecte des données du recensement ont été effectuées de façon différente. Le recensement portait sur le volume horaire du trafic tandis que la photographie aérienne montrait le volume du trafic sur une section de route à un moment donné. A la lumière de cette précision, il faut noter quelques points pour comprendre la signification des écarts entre les deux types de données: les vues aériennes indiquent un volume de trafic inférieur au recensement parce que ce dernier fournit le volume mesuré pendant une heure, donnant donc une valeur très approximative, alors que la photographie aérienne montre avec précision l'encombrement à un moment donné. Le pourcentage d'embouteillages du tableau 3 est particulièrement faible en hiver, ce qui est attribué à la nette diminution du volume de trafic dans les embouteillages en hiver par rapport à l'été.

En ce qui concerne la vitesse de déplacement, les données du recensement ne reflètent que les encombrements rencontrés pendant le trajet sur la route étudiée, tandis que les prises de vue aériennes révèlent tous les embouteillages qui s'y produisent simultanément. Si, par exemple, les embouteillages se prolongeaient de façon uniforme, avec les données du recensement sur la vitesse de déplacement dans les embouteillages, on obtiendrait un résultat similaire à celui des photographies aériennes. Toutefois, comme les embouteillages se résorbent avec le temps, la vitesse de déplacement diminue sur la section encombrée de la route, mais augmente sur les autres sections qui se sont dégagées. On obtient donc de ce fait des données par les vues aériennes inférieures à celles du recensement.

5. Analyse des données par route au cours de l'année 1994/1995

Les auteurs ont étudié les conditions de circulation sur chaque route à partir des données des photographies aériennes de 1994. Les valeurs du volume du trafic (Q), de la vitesse de déplacement (V) et de la densité de la circulation (K) ont été calculées pour un véhicule choisi de façon aléatoire. Ensuite ont été calculées les moyennes mobiles de Q, V et K de tous les véhicules se trouvant à une distance de 200 mètres devant ou derrière le véhicule choisi aléatoirement, pour obtenir le volume du trafic (Q'), la vitesse de déplacement (V') et la densité de la circulation (K'). La figure 3 montre le plan Q-V-K. Si l'on suppose que $Q = K \cdot V$, tous les véhicules se trouvent dans le plan Q-V-K. La figure 3 montre qu'un véhicule situé dans une zone à forte densité de trafic et vitesse faible se trouve dans un embouteillage. Les véhicules circulent librement quand ils sont dans la zone à faible densité de trafic.

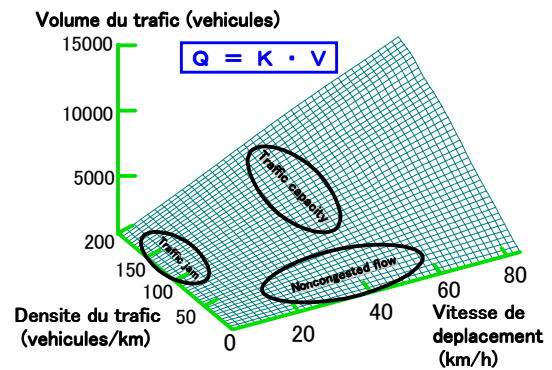


Figure 3 Plan Q-V-K

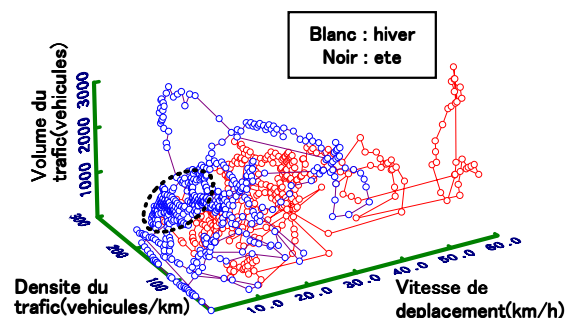


Figure 4. Comparaison été-hiver de Q', V', K' sur la Route Nationale 36

Lorsqu'un véhicule se trouve dans une zone à forte densité de trafic et à vitesse de déplacement élevée, la route atteint presque sa capacité maximale de trafic (volume maximum de trafic). C'est dans ce cas qu'elle est utilisée au mieux. Les figures 4, 5 et 6 sont discutées en fonction de la figure 3. Dans ces figures, les points représentent des véhicules. Les points noirs et les points blancs indiquent les valeurs d'été et d'hiver. Les véhicules d'une route sont reliés les uns aux autres par des lignes allant du point initial au point final de la section étudiée. Le tracé d'une ligne entre véhicules permet de voir si les points blancs et noirs ont des caractéristiques communes. Par exemple, dans les sections encombrées, les points se suivent de très près, et se chevauchent presque. Ceci indique les caractéristiques de la circulation, à savoir que les valeurs Q, V et K sont très proches. Par contre, dans les sections où les automobilistes roulent librement, les caractéristiques sont très différentes les unes des autres et la ligne reliant les points est longue.

La figure 4 montre un diagramme des valeurs Q', V', K l'été et l'hiver pour la Route Nationale 36. Comme illustré dans le tableau 2, beaucoup de véhicules s'y concentrent, surtout l'hiver. La figure 4 révèle que très peu de véhicules de la zone embouteillée se déplacent à 5km/h ou moins. Elle montre également que la zone de faible densité a quelques points reliés par une longue ligne, où les véhicules se déplacent librement. Ceci est attribué au fait que, grâce à une signalisation parfaitement au point sur cette partie de route, de nombreux véhicules peuvent s'y déplacer tranquillement sans arrêts et redémarrages fréquents. Cette section bénéficie en outre d'une excellente gestion en hiver qui garantit la fluidité de la circulation.

La figure 5 donne un cas sur le boulevard périphérique Kanjo. Prenez un exemple de données hivernales. Dans la zone où les véhicules se déplacent librement, la vitesse de déplacement varie avec une faible densité de trafic (d'où une série de points reliés entre eux par une ligne relativement longue). En revanche, le goulet d'étranglement a une forte densité et une faible vitesse, avec de nombreuses séries de points sans lignes. C'est le cas lorsque de nombreux véhicules sont concentrés en un point particulier de la route. (L'absence de lignes indique que les véhicules sont très près les uns des autres). Autrement dit, la route contient une section sans circulation et une autre fortement encombrée: elle est mal utilisée. Sur ce genre de routes, le volume de trafic peut être considérablement amélioré par l'aménagement des sections représentant un goulet d'étranglement.

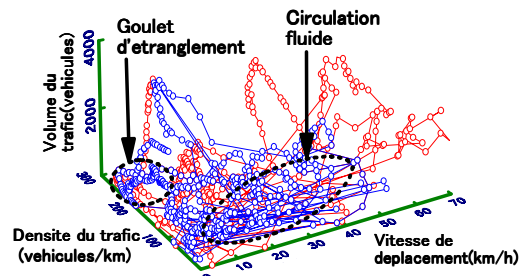


Figure 5. Comparaison été-hiver de Q', V', K' sur le boulevard périphérique Kanjo

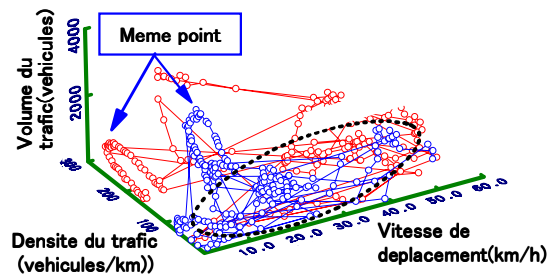


Figure 6. Comparaison été-hiver de Q', V', K' sur la Rue Higashi 8-chome

La figure 6 illustre le cas de la Rue Higashi 8-chome. Elle est divisée en deux sections, surtout l'hiver: une section représentant un goulet d'étranglement (indiquée comme "même point" dans la figure) et une zone sans ralentissement. Ceci peut être considéré comme un exemple extrême du boulevard périphérique Kanjo. Les données montrent que ce même endroit connaît des encombrements en été, mais qu'il est près d'une zone à forte densité de trafic avec des vitesses de déplacement élevées en hiver. Ceci vient de ce que les embouteillages sont moins probables en hiver parce qu'il y a moins de véhicules sur cette route.

6. Analyse des données de l'année 1999/2000

Le tableau 4 donne les résultats de l'analyse des photographies aériennes de l'année 1999/2000. D'après les tableaux 1 et 4, le nombre total de véhicules sur la route en 1999/2000 excède celui de l'année 1994/1995 (64.000 contre 72.000). Ceci s'explique par la zone plus large couverte dans les photographies aériennes de 1999/2000 comparée à celle de 1994/1995 (180 km² contre 200 km²). En outre, le nombre de véhicules au cours de l'été 1994 dépasse celui de l'hiver 1994/1995, alors que c'est l'inverse au cours de l'année 1999/2000. Ceci est dû aux différences climatiques entre les deux années. Comme les prises de vue aériennes ne peuvent être effectuées que

Tableau 4 Présentation générale des résultats de l'analyse des photographies aériennes de 1999/2000

	Été	Hiver
Nombre total de véhicules (véhicules)	31,940	39,999
Nombre de véhicules soumis à des calculs de vitesse (véhicules)	30,269	38,357
Vitesse moyenne de déplacement (km/h)	22.3	18.7
Espacement moyen entre véhicules (m)	54.0	44.8

par temps clair, les photographies de l'hiver 1994/1995 ont été faites un jour favorable après une période de beau temps. En revanche, celles de l'hiver 1999/2000 ont été faites le premier jour de beau temps après une période de mauvais temps. Les lignes noires des routes sont clairement marquées dans les vues de 1994/1995 parce que les talus de neige avaient été dégagés, il n'y avait pas de neige visible sur les routes et le déneigement avait été particulièrement intensif sur les routes nationales. Par contraste, en 1999/2000, il restait de la neige sur les routes, leurs lignes noires n'étaient pas aussi distinctes qu'en 1994/1995 en raison de fortes chutes de neige la veille de la prise de vue. Ces différences de situation sur les routes se retrouvent dans les résultats de l'analyse des photographies aériennes. En d'autres termes, il a été conclu que les véhicules pouvaient voyager sans difficulté durant l'hiver 1994/1995 grâce à de bonnes conditions routières, alors que les automobilistes ont eu des difficultés durant l'hiver 1999/2000 à cause de mauvaises conditions qui ont provoqué des encombrements sur les routes.

7. Résultats des vues aériennes de l'année 1999/2000

La figure 7 compare la distribution des vitesses de déplacement durant l'été et l'hiver de cette année. Il apparaît clairement que la vitesse de 45 km/h ou moins est plus commune en hiver qu'en été, le résultat étant inversé pour des vitesses supérieures à 45 km/h. La figure indique également que les véhicules se déplaçant à 10 km/h ou moins sont majoritaires en été comme en hiver, et qu'il y a davantage de véhicules circulant à petite vitesse en hiver.

La figure 8 compare l'espacement entre véhicules en hiver et en été. Elle révèle qu'un espacement de 5 m ou moins représente la majorité des cas, été comme hiver, et que cette tendance est plus marquée en hiver.

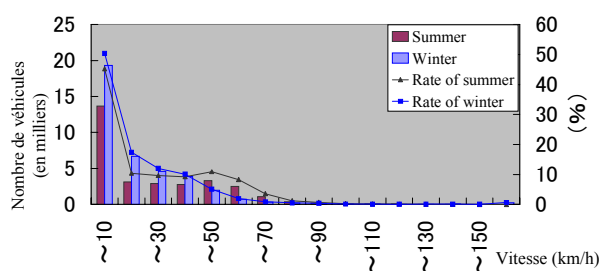


Figure 7. Comparaison été-hiver des nombres et pourcentages de véhicules par vitesse de déplacement

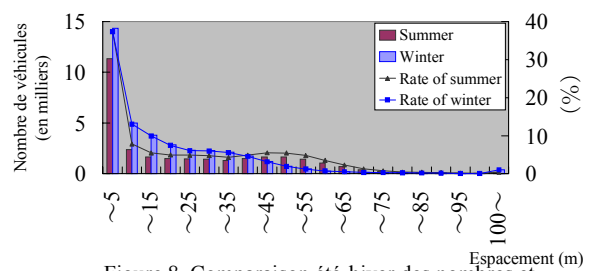


Figure 8. Comparaison été-hiver des nombres et pourcentages de véhicules par espacement

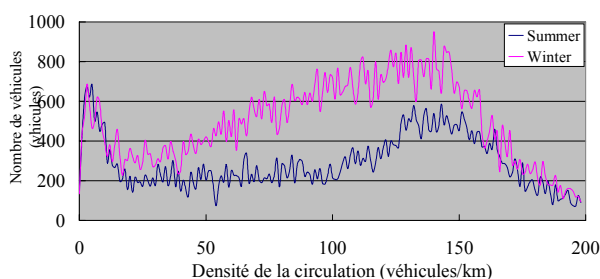


Figure 9. Différences de vitesse de déplacement selon la densité de la circulation

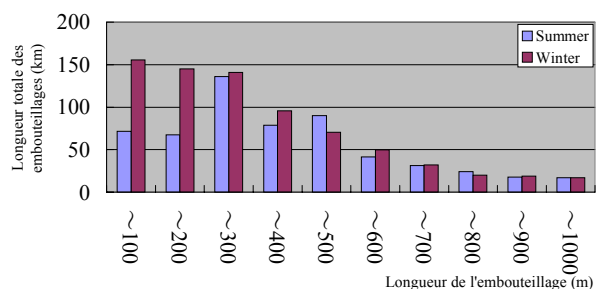


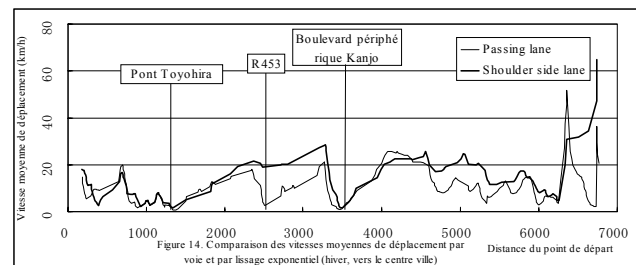
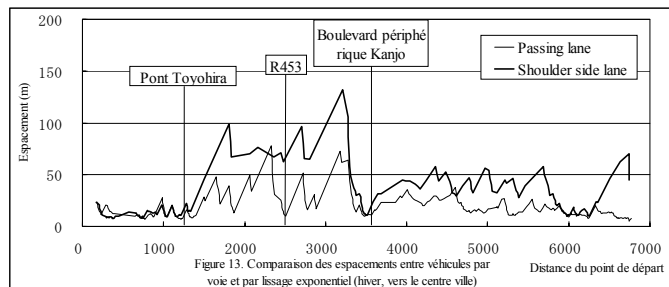
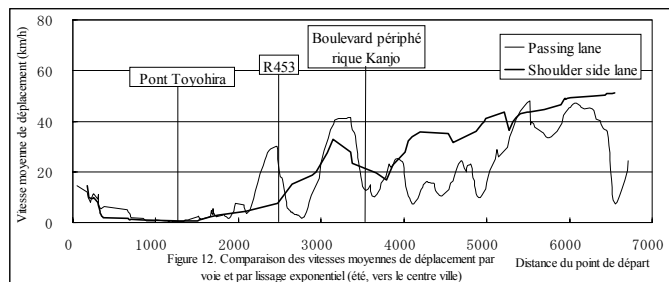
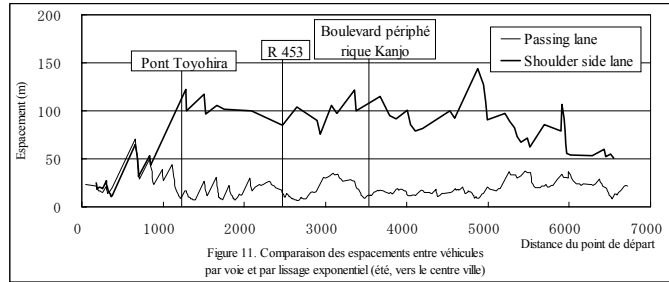
Figure 10. Comparaison été-hiver du nombre de véhicules selon la longueur des embouteillages

La figure 9 montre quelques véhicules se déplaçant à des vitesses de 10 km/h ou moins, sélectionnés dans les figures 7 et 8, pour illustrer la façon dont le nombre de ces véhicules est lié à la densité de la circulation. On y voit un premier pic à une faible densité de circulation de 5 véhicules par km. Ce pic est attribué à quelques véhicules bloqués seuls à une intersection ou sur la route. Il y a un deuxième pic à une densité de 150 véhicules par km. Si l'on suppose qu'un encombrement avec une densité de trafic de 50 véhicules par km et un espacement égal ou inférieur à 20 m est considéré comme embouteillage de forte densité, pratiquement tous les véhicules circulant à 10 km/h ou moins sont dans des embouteillages de forte densité. Mise en rapport avec la figure 6, la figure 9 montre que de nombreux véhicules de la ville de Sapporo sont considérés comme circulant dans des zones avec des embouteillages de forte densité, et cette tendance est particulièrement marquée en hiver.

Partant de l'hypothèse qu'un embouteillage est une situation dans laquelle la vitesse de déplacement est inférieure à 20 km/h et l'espacement entre véhicules inférieur à 100

m, et si l'on regroupe tous les embouteillages selon leur longueur exprimée par unité de 100 m, la figure 10 donne les longueurs totales des embouteillages pour chaque catégorie de longueur. Elle indique que les points d'embouteillage d'une longueur de 300 m ou plus sont à peu près les mêmes en été et en hiver, mais que ceux de 300 m ou moins varient énormément entre l'été et l'hiver. Ceci tient au fait que les gros embouteillages se produisent toujours aux mêmes endroits et qu'il n'y a donc pas de différence entre l'été et l'hiver. Les petits embouteillages en revanche se produisent ici et là l'hiver.

Les figures 11 à 14 comparent les vitesses moyennes de déplacement et les espacements moyens entre véhicules à des points isolés de la Route Nationale 36 (vers le centre ville), l'été et l'hiver. Comme la Route Nationale 36 comporte une voie réservée aux bus, les véhicules circulant sur la voie de droite ont des mouvements différents de ceux des véhicules de la voie centrale. Ce phénomène est



particulièrement marqué l'été et moins visible l'hiver. Les vues aériennes montrent que nombre de petits véhicules empruntent la voie réservée aux bus l'hiver, au mépris de la signalisation de cette voie. L'analyse par voie de circulation permet d'évaluer les différences de comportement des conducteurs. L'axe horizontal des figures 11 et 14 indique les distances à partir du début de la Route Nationale 36 au centre ville. Comme ces figures montrent des véhicules allant vers le centre ville, les véhicules se déplacent de droite à gauche sur les figures, vers le point de départ. Puisque les embouteillages sont plus marqués lorsque l'espacement entre véhicules est court et la vitesse de déplacement lente, les embouteillages ont tendance à se produire à un point situé avant une intersection principale (en particulier sur le boulevard périphérique Kanjo) et disparaissent temporairement après le passage de l'intersection. Ceci indique qu'une grande intersection crée un goulet d'étranglement.

8. Conclusions

- la comparaison des conditions de circulation en été et en hiver montre qu'il y a davantage d'embouteillages en hiver;
- les caractéristiques de diverses conditions de circulation ont pu être illustrées;
- le rapprochement des données fournies par les photographies aériennes et celles du recensement a permis de mieux comprendre les degrés d'embouteillage;
- grâce à une analyse détaillée, véhicule par véhicule, de trois routes différentes, il a été possible d'établir des différences entre les conditions de circulation sur ces routes;
- en prenant le cas de la Route Nationale 36 et en procédant à une analyse détaillée des données obtenues, il a été établi que les embouteillages se produisent à proximité des grandes intersections;
- l'analyse des photographies aériennes s'est révélée un instrument très efficace dans la détermination des conditions de circulation locale.