

LES CONDITIONS DE LA CHAUSSEE PAR TEMPS DE GEL POUR DIFFERENTS TYPES DE ROUTES DE MONTAGNE

Shuheï Takahashi, Kinji Hyakutake, Takao Kameda, Hiroyuki Enomoto
Institut de Technologie de Kitami, Koen-cho 165, Kitami, 090-8507 Japon
E-mail: shuheï/civil@king.cc.kitami-it.ac.jp

Résumé

Les conditions de la chaussée par temps de gel sur les routes de montagne ont été observées dans l'est de Hokkaido, Japon, durant l'hiver 1994-95. Au col de Sekihoku (approx. 900m d'altitude), la température de la chaussée a été mesurée pour trois types de routes : une route ordinaire, une route passant sur un pont métallique et une route sous abri-neige. Des stations automatiques de mesures météorologiques ont permis de collecter toutes les 10 minutes les paramètres suivant: la température de la chaussée, la vitesse du vent et la température de rayonnement du ciel. Ces paramètres enregistrés ont ensuite été comparés avec les informations fournies par le service de la circulation routière de Hokkaido. Et aussi sur le site du tunnel de Tanno (110m d'altitude) près de Kitami, la température de la chaussée a été relevée à l'intérieur et à l'extérieur du tunnel.

Les variations saisonnières et journalières de la température de la chaussée montrent des caractéristiques thermales différentes selon le type de route.

- 1) Sur une route ordinaire, la période de gel s'étend de la fin du mois d'octobre à la fin du mois d'avril. En décembre et en janvier, la surface de la chaussée est verglacée pour 80 à 90 % du temps.
- 2) La chaussée d'une route passant sur un pont métallique tend, en raison de sa plus petite capacité thermique, à être plus chaude par temps chaud et plus froide par temps froid que pour une route ordinaire. La fréquence de gel était de 20 - 40% supérieure à celle d'une route ordinaire pour toute la saison d'hiver. De décembre à février, la chaussée était gelée quasiment à 100% du temps.
- 3) Pour la route sous abri-neige, la variation journalière de la température de la chaussée était faible, et la température moyenne était plus élevée en hiver en raison de la chaleur géothermique, mais inférieure après Mars à cause du manque de rayonnement solaire. La fréquence des conditions de gel sur la route sous abri était inférieure de 15 % environ en Novembre, supérieure de 10-30 % de Décembre à Février, et supérieure d'environ 20 % au début du printemps à celle de la route ordinaire.
- 4) Dans le tunnel de Tanno près de Kitami (alt. 320 m), les conditions hivernales (températures inférieures à 0°C) ont duré jusqu'au début du mois de Mai, soit un mois de plus qu'à l'extérieur du tunnel.

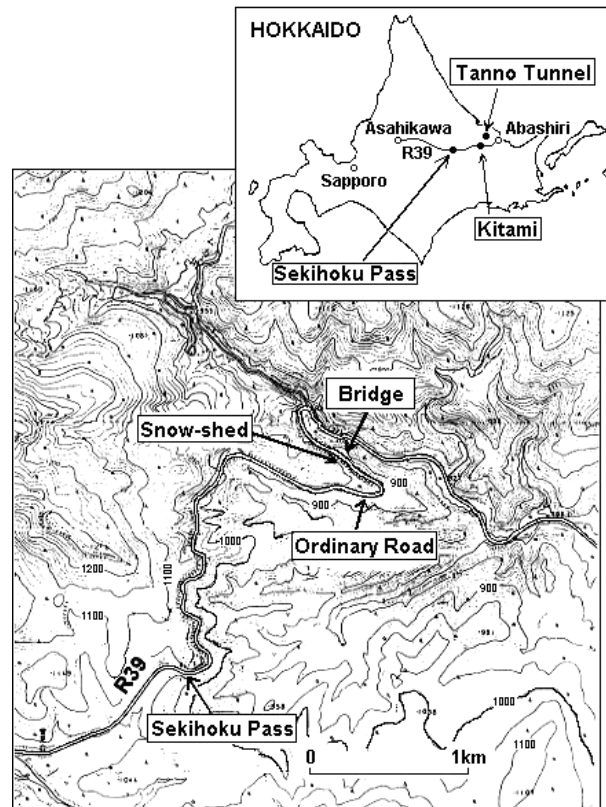


Fig. 1. Points d'observation

Les observations étaient effectuées sur une route ordinaire (route ordinaire), sur le pont d'Akaiwa-bashi (pont), sur une route sous abri-neige près du col de Sekihoku sur la R 39 et au tunnel de Tanno sur la R 333.

1. Introduction

Hokkaido est divisée en deux régions, est et ouest, par des chaînes de montagnes, et les routes qui relient les deux régions passent dans une zone montagneuse à une altitude élevée d'environ 1 000 mètres; de ce fait, on constate de nombreux accidents de la circulation en hiver dus aux routes verglacées. En automne et en été, lorsqu'il n'y a pas de neige dans les plaines, mais qu'elle est présente à plus haute altitude, les véhicules non équipés de pneus d'hiver ont tendance à dérapier à cause de la chaussée verglacée, particulièrement sur les ponts, les routes couvertes et dans les tunnels où les conducteurs se trouvent subitement en présence de verglas. Il existe relativement peu d'études sur les différences de conditions de ces types de chaussées (Takahashi et al. 1996).

Pour faire comprendre les différences de conditions de la chaussée en temps de gel sur une route ordinaire, un pont, une route abritée et dans un tunnel, la température de la chaussée et les facteurs météorologiques ont été observés au col de Sekihoku sur la route nationale R 39 qui relie Asahikawa à Abashiri et sur la R 333 qui va de Tanno à Asahikawa (Fig. 1).

2. Méthodes d'observation

La surface de la chaussée, les conditions météorologiques et les conditions de verglas ont été observées dans les régions montagneuses de l'est d'Hokkaido, Japon, au cours de l'hiver 1994-1995. Au col de Sekihoku (altitude 900 m environ) sur la route nationale R 39, la température de la chaussée a été mesurée par radiomètres sur trois types de routes : une route ordinaire, une route passant sur un pont métallique (pont d'Akaiwa) et une route sous abri-neige (abri-neige de Sekihoku) (Fig. 2 et Fig. 3). En ce qui concerne les facteurs météorologiques, la température de l'air, la vitesse du vent et la température de rayonnement du ciel ont été relevées. Les appareils utilisés sont indiqués dans le Tableau 1 et les spécifications des radiomètres figurent dans le Tableau 2. Le radiomètre n'était activé que quelques secondes au moment de l'enregistrement des données, et il a fonctionné pendant plus de six mois à l'aide de petites batteries sèches. Les données ont été enregistrées toutes les 10 ou 30 minutes par des stations automatiques de mesures de Novembre 1994 à Mai 1995.

La température de la chaussée a été relevée aux points d'observation utilisés pour les appareils de mesure du verglas, qui distinguaient les conditions de la chaussée en "sèche", "mouillée", "glace fondante", "verglas", "neige" à l'aide des détecteurs complexes d'un réflectomètre et d'un radiomètre dans le système d'information sur la circulation routière du Bureau de Développement d'Hokkaido.

Pour examiner les conditions de verglas dans un tunnel, la température de la chaussée a été mesurée entre Février et Mai 1994 à l'intérieur et à l'extérieur du tunnel de Tanno (1,5 km de longueur, à 10 km de Kitami, altitude 110 m), sur la route nationale R 333.



Fig. 2. Points d'observation au pont d'Akaiwa-bashi bridge et sur la route sous abri de Sekihoku sur la R 39



Fig. 3. Points d'observation d'une route ordinaire A partir du haut, appareil de mesure du verglas, caméra de surveillance, radiomètre pour la température de la chaussée et anémomètre.



Fig. 4. Point d'observation du tunnel de Tanno sur la R 333

Tableau 1. Eléments observés et appareils Toutes les données étaient enregistrées dans des systèmes d'enregistrement des données (KADEC-U, -U2 ou -V)

Région	Eléments observés	Appareils
Col de Sekihoku (R 39, alt. 900 m)	Température de la chaussée (ordinaire, sur pont, sous abri-neige) Température du ciel Température du dessous du pont Température de surface de la neige (accotement)	Radiomètre (TASCO, THL500L)
	Température de l'air	Thermomètre à résistance en platine
	Vitesse du vent	Anémomètre à 3 coupes
Col de Tanno (R 333, alt. 110 m)	Température de la chaussée dans le tunnel Température de la paroi dans le tunnel	Radiomètre (TASCO, THL500L)
	Température de l'air dans le tunnel	Thermomètre à résistance en platine
	Vitesse du vent dans le tunnel	Anémomètre à 3 coupes
	Température de la chaussée à l'extérieur du tunnel	Radiomètre (TASCO, THL500L)

Tableau 2. Spécifications du radiomètre

Elément	Spécifications
Appareil	TASCO, THL500L
Capteur	Pile thermoélectrique
Elément sensible	-55°C – 500°C
Temps de réponse	1,5 sec (réponse 95 %)
Champ visuel (diamètre/distance)	20 mm ϕ /100 mm

3. Caractéristiques de la circulation sur la R 39

La R 39 est une route nationale importante qui relie les régions ouest et est d'Hokkaido en passant par le col de Seihoku. Le volume de trafic horaire de la R 39 a été relevé par le Bureau de Développement d'Hokkaido au point d'observation situé à 8 km à l'est du col de Seihoku. Le volume de trafic journalier d'Avril 1994 à Mai 1995 est indiqué à la Figure 5. Des pointes de trafic très importantes de 4 000 à 6 000 voitures par jour ont été observées pendant les vacances de début Mai, au milieu du mois d'Août et début Octobre, tandis que le niveau de trafic constant sur une année était de 1 000 à 1 500 voitures par jour même en hiver.

La Figure 6 présente le volume de trafic horaire sur une journée avec les 4 voies des deux directions et les différentes saisons. Le volume de trafic dans la journée en automne et en hiver était plus important qu'en hiver, alors que de nuit, il était pratiquement égal pour toutes les saisons. Ceci est

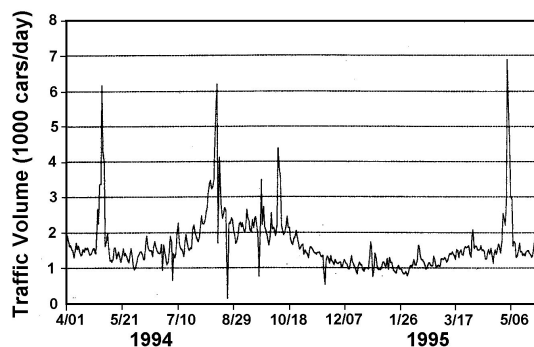


Fig. 5. Variation saisonnière du volume de trafic sur la R 39 Trafic en direction de l'est par le col de Sekihoku.

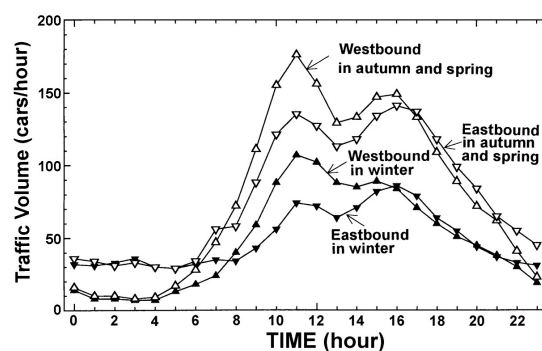


Fig. 6. Variations horaires du volume de trafic sur la R 39 Volume de trafic vers l'est et vers l'ouest en hiver (Novembre 1994 à Mars 1995) et automne et printemps (Octobre 1994, Avril et Mai 1995).

dû au fait que le trafic de jour est constitué de voitures personnelles et de cars de tourisme, tandis que la circulation de nuit est composée principalement des camions qui effectuent les transports entre l'est et l'ouest d'Hokkaido. Le volume de trafic en direction de l'est était toujours plus important que vers l'ouest à toutes les saisons, parce que les camions allant vers l'est voulaient arriver tôt le matin à leurs destinations à l'est (Kitami ou Abashiri, à 1 ou 2 heures du point d'observation), alors que les camions se dirigeant à l'ouest vers Sapporo (à 5 heures de route) étaient passés avant minuit.

4. Température de la chaussée de différents types de routes

La température de la chaussée a été relevée de Novembre 1994 à Mai 1995 sur trois types de routes (une route ordinaire, une route passant sur un pont métallique et une route sous abri-neige) au col de Sekihoku sur la R 39, comme le montre la Figure 7. Le profil de température est classé en trois conditions : "conditions hivernales", lorsque la température diurne maximale est inférieure à 0°C, "conditions hivernales difficiles", lorsque la température diurne maximale est inférieure à -20°C, et "conditions de gel-dégel" lorsque la température diurne maximale est supérieure à 0°C et la température diurne minimale inférieure à 0°C.

Sur la route ordinaire, les conditions hivernales s'étendaient de Novembre à la fin de Février et des conditions hivernales difficiles se sont présentées occasionnellement en Janvier et Février. La condition de gel-dégel allait de la fin du mois de Février à début Mai. Puisque les régions de plaines comme Kitami (alt. 90 m, à 100 km du col de Sekihoku), la période de verglas incluant les conditions hivernales et de gel-dégel s'étend de début Décembre à fin Mars, les conditions de verglas dans la région montagneuse du col de Sekihoku (alt. 900 m) durent deux mois de plus qu'en plaine.

Pour la route passant sur un pont, la température de la chaussée T_{bridge} variait de la même manière que la température T_0 de la route ordinaire (Fig. 7), mais ses variations étaient légèrement supérieures à celles de T_0 . Cette tendance est présentée dans la relation de ces températures en Fig. 8 (a), où les données ont été relevées toutes les 30 minutes. Dans la Fig. 8 (a), T_{bridge} était inférieure à T_0 lorsque T_0 était < 0°C, et supérieure lorsque T_0 était > 0°C. Ceci signifie qu'une route sur un pont a une capacité thermique plus faible qu'une route ordinaire et qu'étant plus exposée à l'air environnant, elle tend à être plus affectée par les modifications de la température de l'air.

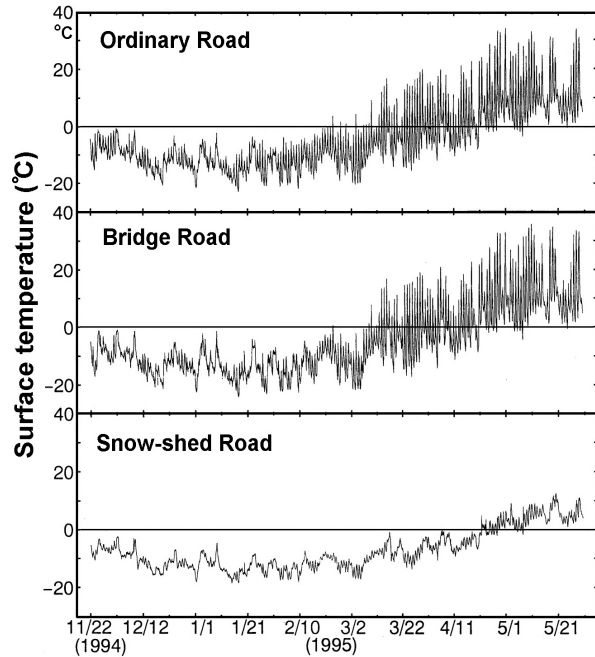


Fig. 7. Variations de la température de la chaussée sur la R 39 de Novembre 1994 à Mai 1995

En haut : sur une route ordinaire, au milieu : sur une route passant sur un pont, en bas : sur une route sous abri-neige.

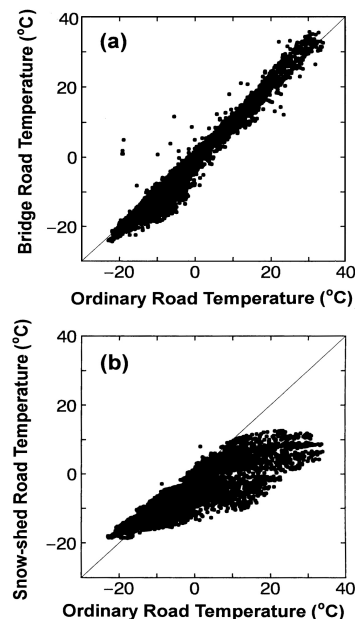


Fig. 8. Relations entre les températures de la chaussée (a) : entre une route sur pont et une route ordinaire, (b) : entre une route sous abri et une route ordinaire.

Sous abri-neige, la variation journalière de la température de la chaussée était plus faible, et les "conditions hivernales" se sont prolongées jusqu'à la fin du mois d'Avril, comme le montre la Figure 7, soit un mois et demi de plus que pour la route ordinaire et la route sur le pont. Après les conditions hivernales, les "conditions de gel-dégel" ont duré jusqu'au début du mois de Mai. La relation de la température de la chaussée de la route sous abri et de la température T_o de la route ordinaire est présentée en 8 (b). $T_{snow-shed}$ était supérieure de 5°C à T_o lorsque T_o était d'environ -20°C , alors que $T_{snow-shed}$ était de 10 à 20°C inférieure à T_o lorsque T_o était de 20°C environ.

5. Fréquence des conditions de verglas

La condition de la chaussée a été observée chaque heure par le Bureau de Développement d'Hokkaido à l'aide d'un appareil de mesure du verglas utilisant un réflectomètre et un radiomètre, et les conditions de la chaussée ont été classées en 5 types : sèche, mouillée, glace fondante, verglas et neige. La Figure 9 présente les fréquences des conditions de gel sur un mois pour la période allant d'Octobre 1994 à Mai 1995 pour les trois types de routes.

Si l'on compare les données d'une route ordinaire et d'une route sur pont, la route sur pont tend à être verglacée au début et en milieu d'hiver. La fréquence des conditions de gel (glace fondante, verglas, neige) pour la route sur le pont était de 40 % en Octobre, alors qu'elle était pratiquement de 0 % pour la route ordinaire, d'environ 70 % en Novembre contre 40 % pour la route ordinaire, et de presque 100 % de Décembre à Février contre 70 à 90 % pour la route ordinaire. De Mars à Mai, il n'y avait pratiquement pas de différence entre les deux routes.

En ce qui concerne la route sous abri, les conditions de gel étaient plus rares que sur la route ordinaire en début d'hiver, mais plus fréquentes du milieu de l'hiver au début du printemps. Alors que la fréquence des conditions de gel sur la route couverte était de 0 % en Octobre et de 25 % en Novembre (inférieure aux deux autres routes), elle était presque de 100 % de Décembre à Février, soit autant que pour la route sur pont, et de 50 % en Mars et 30 % en Avril, soit environ 20 % supérieure à celle des deux autres routes.

Un autre élément à noter pour la route sous abri-neige est que 15-30 % des conditions de glace fondante ont été observées de Novembre à Avril, ce qui est beaucoup plus important que pour les deux autres routes. D'après la variation de la température de la

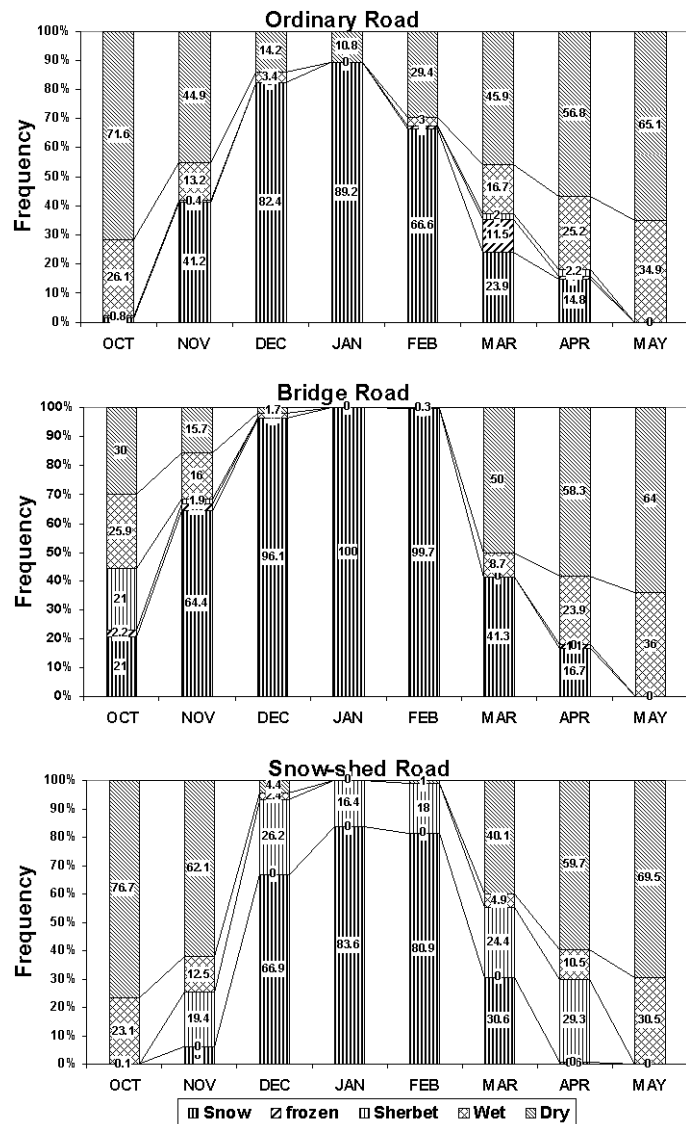


Fig. 9. Fréquences mensuelles des conditions de gel pour les trois types de routes En haut : sur une route ordinaire, au milieu : sur une route passant sur un pont, en bas : sur une route sous abri-neige.

chaussée en Fig. 7, la température était d'environ -10°C à cette période, donc éloignée du point de dégel, et les conditions de dégel ont donc été difficiles à prendre en compte. Il est possible d'expliquer la condition de glace fondante par le sel anti-verglas épandu dans l'abri pour faciliter la circulation, qui fait que le capteur peut détecter la présence d'eau même en dessous de 0°C .

6. Température de la chaussée dans un tunnel

La température de la chaussée a été observée à l'intérieur et à l'extérieur du tunnel de Tanno (longueur 1,5 km, alt. 110 m) à 10 km de Kitami sur la route nationale R 333 de Février à Mai 1994. Comme le montre la Figure 10, la température de la chaussée dans le tunnel était inférieure à 0°C jusqu'à mi-Avril et de 0°C environ jusqu'au début du mois de Mai, et sa variation journalière était très faible. A l'extérieur du tunnel, la variation journalière était plus importante, de plus de 20°C , et la température de la chaussée était habituellement bien supérieure à 0°C dans la journée, jusqu'à 10°C parfois et même plus en Février et Mars. Dans cette région, la chaussée était en général complètement déneigée. Une chaussée sans neige recevant un rayonnement solaire beaucoup plus important (Ishikawa et al.,1987), la chaussée était facilement chauffée pendant la journée. A partir de début Avril, sa température diurne minimale était supérieure à 0°C et les conditions de gel étaient terminées, tandis que les conditions de gel dans le tunnel ont duré un mois de plus.

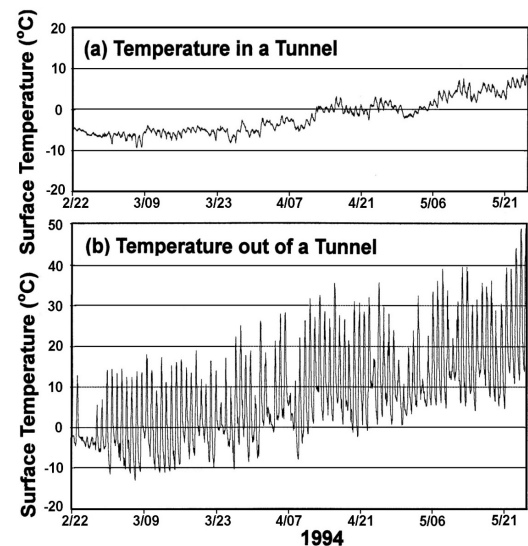


Fig. 10. Variations de la température de la chaussée dans le tunnel de Tanno tunnel sur la R 333 de Février à Mai 1994 (a) : à l'intérieur du tunnel, (b) à l'extérieur du tunnel.

7. Corrélation entre la température de la chaussée et la température de l'air

En automne et au printemps, la chaussée est parfois recouverte de neige et l'eau regèle dans les cols de haute altitude, en particulier la nuit, alors qu'il n'y a pas de neige à basse altitude. En cette saison, il arrive souvent que les conducteurs ne sachent pas si la route dans le col est verglacée ou non et s'ils doivent installer des pneus d'hiver. Pour savoir si un col sera verglacé ou non, il est utile de prévoir plusieurs heures à l'avance la température de la chaussée. Pour les prévisions de conditions de la chaussée, Takeuchi (1992) a utilisé l'analyse de Fourier et des modèles d'équilibre thermique, et Nakatsuji et al. (1994) ont combiné un modèle GMDH (Méthode groupée de gestion de données) et un modèle de réseau neuronal multicouches. Ces méthodes permettaient une bonne précision pour la prévision, mais elles nécessitaient l'entrée de nombreuses données. Nous avons choisi de ne prévoir que la température de l'air pour l'utilisation pratique et examiné la corrélation entre les températures de la chaussée et la température de l'air au col de Sekihoku.

La température de l'air était mesurée au point d'observation de la température de la chaussée de la route ordinaire. Le coefficient de corrélation entre

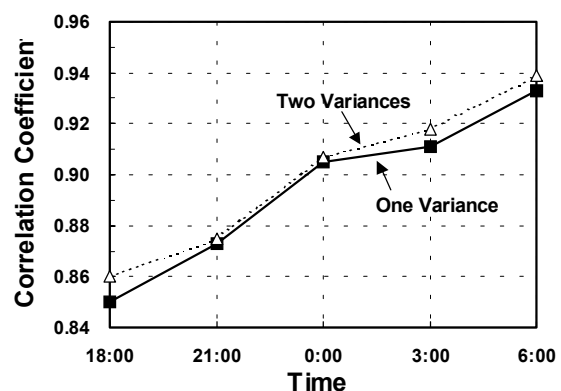


Fig. 11. Coefficient de corrélation entre la température de la chaussée à 6 h et la température de l'air précédente Trait plein : corrélation entre la température de la chaussée à 6 h et la température de l'air précédente contre le décalage de temps des mesures de température; ligne pointillée : coefficient de corrélation à deux variables utilisant deux variances de la température de l'air et son taux de modification en trois heures.

la température de la chaussée à 6 heures et la température de l'air avec un décalage de temps de plusieurs heures avant 6 heures était calculé, et sa modification avec le décalage de temps est indiquée en Figure 11 sous forme de trait plein. Le coefficient de corrélation devenait plus élevé lorsque l'heure de mesure de la température de l'air approchait de 6 heures. Il était de 0,93 à 6 h, de 0,90 à 24 h (6 heures avant) et de 0,85 à 18 h (12 heures avant). La ligne pointillée de la Figure 11 représente le coefficient de corrélation à deux variables utilisant deux variances de la température de l'air et son taux de modification en trois heures, qui est légèrement supérieur au précédent. Avec ces coefficients de corrélation, il est possible de prévoir la température de la chaussée à 6 heures à partir de la température de l'air 12 heures avant 6 heures.

Dans la Figure 12, les quatre lignes montrent le coefficient de corrélation des températures de la chaussée des trois sortes de route et de la température de l'air sur site au col de Sekihoku avec la température de l'air précédente à Kitami (alt. 90 m, à 100 km du col), pour voir la possibilité de la prévision de la température de la chaussée en région montagneuse à l'aide de la température de l'air à basse altitude. Bien que le coefficient de corrélation ait été relativement élevé lorsque l'heure de mesure de la température de l'air à Kitami était de 18 h à 24 h, il a diminué entre 3 h et 6 h, parce que Kitami est situé dans un bassin et que la température de l'air est affectée par le refroidissement rayonnant en fin de nuit, tandis que la température de l'air au col de Sekihoku reflète la température de l'atmosphère libre. Il semble inadéquat de faire des prévisions sur la température de la chaussée en régions montagneuses à l'aide de la température de l'air à basse altitude.

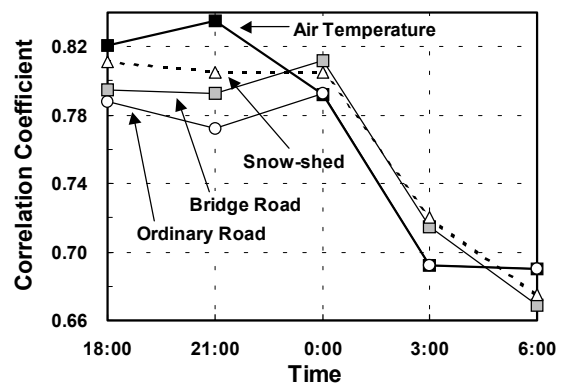


Fig. 12. Coefficients de corrélation coefficients entre les températures au col de Sekihoku et la température de l'air précédente à Kitami

8. Remarques de conclusion

- (1) Dans la région montagneuse du col de Sekihoku (alt. 920 m), les conditions hivernales (températures inférieures à 0°C) ont duré de Novembre à la fin du mois de Février et les conditions de gel-dégel de la fin de Février au début de Mai, soit deux mois de plus qu'en plaine.
- (2) Sur une route passant sur un pont, la température de la chaussée était plus basse en hiver que sur une route ordinaire, et plus élevée en période chaude. Si l'on compare les températures de la route ordinaire et de la route sur pont, cette dernière a tendance à être verglacée en début et en milieu d'hiver. La fréquence des conditions de gel (glace fondante, verglas, neige) pour la route sur pont était de 20 à 40 % supérieure à celle de la route ordinaire en automne et en hiver en raison de sa faible capacité thermique. Elle était d'environ 40 % en Octobre, contre pratiquement 0 % pour la route ordinaire, d'environ 70 % en Novembre contre 40 % pour la route ordinaire, et de presque 100 % de Décembre à Février contre 70 à 90 % pour la route ordinaire.
- (3) Pour la route sous abri-neige, la variation journalière de la température de la chaussée était faible, et la température moyenne était plus élevée en hiver en raison de la chaleur géothermique, mais inférieure après Mars à cause du manque de rayonnement solaire. Sur la route sous abri, les conditions de gel étaient plus rares que sur la route ordinaire en début d'hiver, mais plus fréquentes en milieu de l'hiver et au début du printemps. La fréquence des conditions de gel sur la route sous abri était inférieure de 15 % environ en Novembre, supérieure de 10-30 % de Décembre à Février, et supérieure d'environ 20 % au début du printemps à celle de la route ordinaire.
- (4) Dans le tunnel de Tanno près de Kitami (alt. 320 m), les conditions hivernales (températures inférieures à 0°C) ont duré jusqu'au début du mois de Mai, soit un mois de plus qu'à l'extérieur du tunnel.

- (5) Le coefficient de corrélation entre la température de la surface à 6 h et la température de l'air avec le décalage de temps précédent était élevé, et la prévision de la température de la chaussée par la température de l'air in situ est donc possible.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier la branche de Kitami du Bureau de Développement d'Hokkaido qui leur a fourni les données des conditions de chaussée par temps de gel et de volumes de trafic sur la R 39. Cette étude a été soutenue par une subvention pour la recherche scientifique du Ministère de l'Education, des Sciences et de la Culture du Gouvernement Japonais, n° 5452369.

Références

- Ishikawa, N., Naruse, R. and Maeno, N.: Heat Balance Characteristics of Road Snow. *Low Temperature Science, Ser. A*, 46, 1987, 151-162.
- Nakatsuji, T., Hagiwara, T., Fujiwara, T. and Kaku, T.: Prediction Methods of Winter Road Conditions in Mountainous Area. *Seppyo*, 56, 1994, 353-361.
- Takahashi, S., Enomoto, H., Hyakutake, K., Azumi, S. and Ohshima, T.: Characteristics of Road Surface Freezing in Mountainous Regions. *Proc. of '96 Cold Region Technology Conference*, 12, 1996, 168-173.
- Takeuchi, K.: Studies on Pavement Freezing Predictions. *J. of Infrastructure Planning and Management, JSCE, No.470/IV-20*, 1993, 185-194.