

# 除雪を考慮した高速道路における地点速度の推定

長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 非会員 平沼 昇  
長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 正会員 佐野 可寸志  
長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 正会員 伊藤 潤  
長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 正会員 鳩山 紀一郎

## 1. はじめに

積雪量は高速道路の速度低下を発生させる。積雪による速度低下に関する既往研究で『気象および交通データ解析に基づく積雪期における速度低下の推定手法』において、プローブカーデータを用い、リンクごとの1日の平均速度を当日と前日の最深積雪、降雪量日合計、日平均気温、日最高気温、日最低気温などを説明変数として分析を行っており、雪道の速度変化を推定している<sup>1)</sup>。しかし、路面の積雪量は現在観測されておらず、路面の積雪量による速度の変化は明らかにされていない。このため、本研究ではある特定の時点の積雪時の速度の推定を目指し、除雪を考慮した路面の積雪量を推定し、推定した積雪量とトラフィックカウンターで計測された地点速度、観測された気象データを基に速度を推定するモデルを作成する。積雪による速度低下を求めることでその損失を求め、除雪による速度低下による損失と合わせて最適な除雪タイミングを図ることができる。

## 2. 使用データ

東日本高速道路株式会社新潟支社管内の次のデータを利用して研究を行う。

### (1)気象データ

気象観測器の1時間間隔の積雪量,5分毎の平均風速,5分間隔の気温

降雪量と融雪量はインターチェンジ付近などの30ヵ所,風速と気温はインターチェンジ付近や橋梁部など58ヵ所で観測されている。

### (2)交通データ

トラフィックカウンターにより計測された5分間の交通量,平均速度

トラフィックカウンターは47ヵ所,概ねインターチ

ェンジ間に1ヵ所ずつ,ジャンクション部の各ランプに設置されている。設置地点を図1で示す。

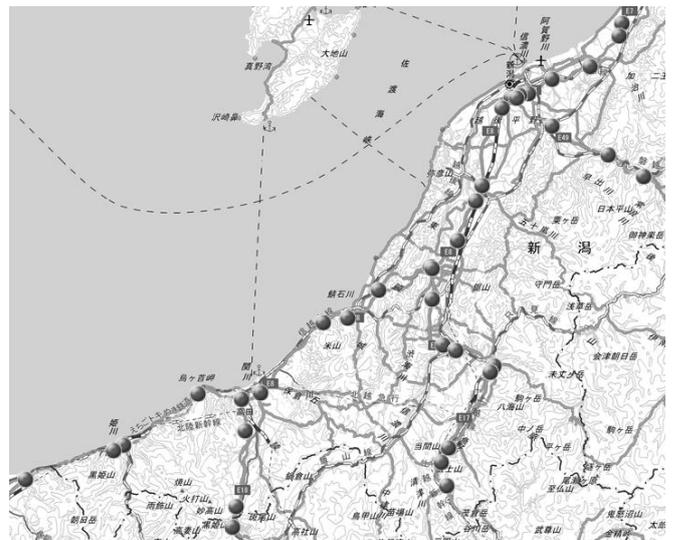


図1. トラフィックカウンター設置地点  
(国土地理院地図を基に作成)

### (3)除雪車 GPS データ

除雪車の緯度,経度,上下線の区別,作業の種類などの情報が含まれ,作業時は概ね1分毎に記録されている。

対象とした日は2018年1月11,12,24,25日である。

1月11日は長岡,相川,新潟,新津,津川,12日は高田,能生,24日は小出,高田のアメダスの1日降雪量がシーズン最大であったため,雪の多かった日として分析の対象にした。

## 3. 路面積雪量の推定

除雪車の通過時間と対象地点付近の観測点の降雪量及び融雪量を基に路面積雪量を推定する。降雪量及び融雪量は,観測点の積雪量の変動より求めている。積雪量は1時間単位で観測されているため,1時間毎の降雪量及び融雪量を12分割し,5分単位にして扱う。路面積雪量は降雪量及び融雪量の累積で表し,除雪が行わ

れた時点で 0cm とする.除雪車通過時間は除雪車が対象地点に最も近い地点で GPS 測位した時間とする.

積雪量の例として,路外の観測点の積雪量と推定した路面積雪量を次の図 2 に示す.

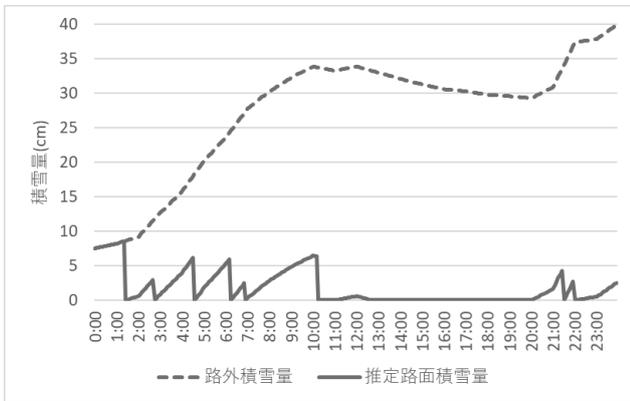


図 2.路外積雪量と推定路面積雪量の例

対象とした地点は 2018 年 1 月 11 日の北陸自動車道 米山 IC-柏崎 IC 間上り線 391.1 キロポスト地点,積雪量は柏崎 IC (397.1 キロポスト付近) にて観測されたデータを用いた.

#### 4. 地点速度の推定

##### (1) 地点速度推定モデルの作成

推定した路面積雪量とトラフィックカウンターで計測された平均速度,観測された気象データを用いて路面積雪量と気温,風速を基に回帰分析で速度を推定するモデルを作成した.

#### (2) 使用するデータの選別

本線から出口に進入するために減速するなどの影響を除くために,トラフィックカウンターからインターチェンジのランプまでの距離が 1km 以上離れている区間を選定した.また,除雪車を追尾することで発生する速度低下の影響を避けるため,除雪車が通過したタイミングとその前後の,合わせて 15 分間のデータは排除して分析を行った.また,前日以前に除雪車が通過していても,積雪量に反映できないため,対象とした期間内で最初に除雪車が通過したタイミング以降を分析の対象としている.

1 月 11,12 日の中郷 IC-上越高田 IC,巻湯東 IC-新潟西 IC,豊栄新潟東港 IC-聖籠新発田 IC,聖籠新発田 IC-中条 IC ではデータ上で除雪を確認することができなかったため除外している.

#### (3) 結果

回帰分析を行った結果を次の表 1,表 2 に示す.表 3 にはトラフィックカウンターの設置されているキロポストと各区间で用いた気象データの観測点を示す.

表 1,2 で,灰色で示している部分は係数が積雪量,降雪量,風速では正,温度では負になっている部分と p 値が 5%を下回っていて信用性の低い係数であると考えられる.

表 1.1 月 11,12 日の各地点の分析結果

区間	変数	R <sup>2</sup> 値	係数	標準偏回帰係数	t値	p値	変数	R <sup>2</sup> 値	係数	標準偏回帰係数	t値	p値	変数	R <sup>2</sup> 値	係数	標準偏回帰係数	t値	p値
小千谷 ～ 長岡	推定路面積雪量	0.2556	-1.1830	-0.3690	0.0000	-1.3535	推定路面積雪量	0.2591	-1.3717	-0.4278	-11.7363	0.0000	推定路面積雪量	0.3913	-1.7397	-0.5426	-15.9968	0.0000
	降雪量		-24.2093	-0.3039	0.0000	-28.4462	降雪量		-21.9953	-0.2761	-9.3912	0.0000	降雪量		-18.1705	-0.2281	-8.4982	0.0000
	温度						温度		-0.6462	-0.0894	-2.4083	0.0162	温度		1.1743	0.1625	4.3189	0.0000
	風速						風速						風速		-2.1593	-0.5012	-14.9710	0.0000
米山 ～ 柏崎	推定路面積雪量	0.2165	-1.3151	-0.2927	-8.3270	0.0000	推定路面積雪量	0.2622	-1.2163	-0.2708	-7.9112	0.0000	推定路面積雪量	0.2804	-1.3273	-0.2955	-8.6544	0.0000
	降雪量		-17.9272	-0.2266	-6.4461	0.0000	降雪量		-17.7901	-0.2249	-6.5922	0.0000	降雪量		-14.4434	-0.1826	-5.2646	0.0000
	温度						温度		2.2740	0.2167	7.9711	0.0000	温度		3.5671	0.3399	9.4458	0.0000
	風速						風速						風速		-1.2031	-0.1872	-5.1423	0.0000
柏崎 ～ 西山	推定路面積雪量	0.1433	-0.7989	-0.2497	-8.4595	0.0000	推定路面積雪量	0.1936	-0.7065	-0.2208	-7.6531	0.0000	推定路面積雪量	0.2041	-0.6009	-0.1878	-6.2767	0.0000
	降雪量		-17.4375	-0.2294	-7.7725	0.0000	降雪量		-20.7147	-0.2725	-9.3592	0.0000	降雪量		-19.5516	-0.2572	-8.8089	0.0000
	温度						温度		2.1067	0.2302	8.1689	0.0000	温度		3.1728	0.3467	8.4142	0.0000
	風速						風速						風速		-0.5435	-0.1622	-3.8535	0.0001
中之島 見附 ～ 三条燕	推定路面積雪量	0.1637	-0.5155	-0.2568	-8.2958	0.0000	推定路面積雪量	0.1707	-0.4737	-0.2360	-7.4778	0.0000	推定路面積雪量	0.1743	-0.4444	-0.2214	-6.8942	0.0000
	降雪量		-18.8952	-0.2342	-7.5627	0.0000	降雪量		-21.6400	-0.2682	-8.1910	0.0000	降雪量		-21.7649	-0.2697	-8.2945	0.0000
	温度						温度		0.7668	0.0943	3.0884	0.0021	温度		0.4283	0.0527	1.4903	0.1365
	風速						風速						風速		0.7541	0.0805	2.3225	0.0204
塩沢石打 ～ 六日町	推定路面積雪量	-0.0004	1.0896	0.0536	1.3051	0.1923	推定路面積雪量	0.0573	0.6362	0.0313	0.7818	0.4346	推定路面積雪量	0.0630	0.1600	0.0079	0.1905	0.8490
	降雪量		-1.4636	-0.0039	-0.0948	0.9245	降雪量		-13.1319	-0.0349	-0.8695	0.3849	降雪量		-9.9290	-0.0264	-0.6564	0.5118
	温度						温度		1.7353	0.2465	6.2352	0.0000	温度		1.7987	0.2555	6.4478	0.0000
	風速						風速						風速		-0.8544	-0.0885	-2.1917	0.0288
堀之内 ～ 越後川口	推定路面積雪量	0.1890	-1.7175	-0.1774	-4.2449	0.0000	推定路面積雪量	0.3512	-1.2814	-0.1324	-3.5309	0.0004	推定路面積雪量	0.3516	-1.2310	-0.1272	-3.3728	0.0008
	降雪量		-30.7102	-0.2888	-6.9094	0.0000	降雪量		-25.2485	-0.2375	-6.3278	0.0000	降雪量		-25.9012	-0.2436	-6.4402	0.0000
	温度						温度		2.4766	0.4131	15.9778	0.0000	温度		2.4328	0.4058	15.3250	0.0000
	風速						風速						風速		0.3047	0.0331	1.2704	0.2042
親不知 ～ 糸魚川	推定路面積雪量	0.4725	-2.1786	-0.4217	-15.5445	0.0000	推定路面積雪量	0.5058	-1.9769	-0.3827	-14.3409	0.0000	推定路面積雪量	0.5196	-1.8228	-0.3528	-13.1251	0.0000
	降雪量		-24.8904	-0.3658	-13.4833	0.0000	降雪量		-18.5689	-0.2729	-9.5478	0.0000	降雪量		-16.8990	-0.2484	-8.7003	0.0000
	温度						温度		2.7093	0.2186	8.2276	0.0000	温度		2.0405	0.1646	5.8725	0.0000
	風速						風速						風速		1.7423	0.1484	5.4038	0.0000
能生 ～ 名立谷浜	推定路面積雪量	0.3570	-2.6506	-0.4528	-11.4243	0.0000	推定路面積雪量	0.6466	-1.0361	-0.1770	-5.6642	0.0000	推定路面積雪量	0.6719	-0.9061	-0.1548	-5.1196	0.0000
	降雪量		-11.7231	-0.1856	-4.6831	0.0000	降雪量		8.0981	0.1282	4.0350	0.0001	降雪量		4.9504	0.0784	2.5086	0.0123
	温度						温度		10.6582	0.7659	25.9411	0.0000	温度		8.4600	0.6079	17.5604	0.0000
	風速						風速						風速		2.0397	0.2146	8.0074	0.0000

表 2. 1 月 24,25 日の各地点の分析結果

区間	変数	R <sup>2</sup> 値	係数	標準偏回帰係数	t値	p値	変数	R <sup>2</sup> 値	係数	標準偏回帰係数	t値	p値	変数	R <sup>2</sup> 値	係数	標準偏回帰係数	t値	p値
小千谷 ～ 長岡	推定路面積雪量	0.0145	-0.1975	-0.0292	-0.7647	0.4446	推定路面積雪量	0.0384	0.0328	0.0049	0.1266	0.8993	推定路面積雪量	0.0383	-0.0128	-0.0019	-0.0486	0.9612
	降雪量		-14.8025	-0.1094	-2.8617	0.0043	降雪量		-11.9975	-0.0886	-2.3345	0.0198	降雪量		-13.4544	-0.0994	-2.5098	0.0122
	温度						温度		1.2126	0.1651	5.0787	0.0000	温度		1.1437	0.1557	4.5863	0.0000
米山 ～ 柏崎	推定路面積雪量	0.1468	-2.8419	-0.2693	-6.8688	0.0000	推定路面積雪量	0.2182	-1.9986	-0.1894	-4.9254	0.0000	推定路面積雪量	0.2263	-1.8592	-0.1762	-4.5818	0.0000
	降雪量		-30.7154	-0.1500	-3.8258	0.0001	降雪量		-21.1212	-0.1031	-2.7252	0.0065	降雪量		-27.7064	-0.1353	-3.4832	0.0005
	温度						温度		2.0854	0.2927	9.5473	0.0000	温度		1.7310	0.2429	7.1686	0.0000
柏崎 ～ 西山	推定路面積雪量	0.0179	-1.6115	-0.1623	-3.2372	0.0013	推定路面積雪量	0.3183	-0.6114	-0.0099	-1.4555	0.1461	推定路面積雪量	0.3526	-0.6947	-0.1068	-3.3653	0.0008
	降雪量		26.4508	0.1169	2.6500	0.0083	降雪量		27.0401	0.1187	3.2517	0.0012	降雪量		-0.8664	-0.0341	-2.1018	0.0361
	温度						温度		3.0097	0.5102	15.0119	0.0000	温度		11.6093	0.0543	1.3475	0.1784
中之島 見附 ～ 三条燕	推定路面積雪量	0.0027	-0.4907	-0.0369	-1.0568	0.2908	推定路面積雪量	0.1345	1.3232	0.0994	2.9026	0.0038	推定路面積雪量	0.1925	-1.3057	-0.1682	-5.2787	0.0000
	降雪量		-9.9155	-0.0423	-1.2131	0.2254	降雪量		-11.8503	-0.0506	-1.5560	0.1200	降雪量		0.2461	0.0185	0.5380	0.5907
	温度						温度		2.2719	0.3873	12.5936	0.0000	温度		-25.9425	-0.1107	-3.4438	0.0006
塩沢石打 ～ 六日町	推定路面積雪量	0.1052	-0.2441	-0.0540	-1.3849	0.1664	推定路面積雪量	0.1266	-0.2681	-0.0593	-1.5393	0.1241	推定路面積雪量	0.1504	-0.3139	-0.0694	-1.8244	0.0684
	降雪量		-19.8499	-0.2921	-7.4974	0.0000	降雪量		-20.3325	-0.2992	-7.7678	0.0000	降雪量		-19.3788	-0.2852	-7.4869	0.0000
	温度						温度		2.2354	0.1499	4.8502	0.0000	温度		1.8884	0.1267	4.1092	0.0000
堀之内 ～ 越後川口	推定路面積雪量	0.1420	-0.7718	-0.1631	-4.5052	0.0000	推定路面積雪量	0.1985	-0.8718	-0.1842	-5.2512	0.0000	推定路面積雪量	0.1988	-0.8865	-0.1873	-5.3254	0.0000
	降雪量		-23.5998	-0.2661	-7.3518	0.0000	降雪量		-26.9902	-0.3043	-8.6212	0.0000	降雪量		-28.0410	-0.3162	-8.6114	0.0000
	温度						温度		2.3180	0.2450	8.0986	0.0000	温度		2.1400	0.2262	6.6032	0.0000
親不知 ～ 糸魚川	推定路面積雪量	0.0041	0.6321	0.0863	1.9131	0.0560	推定路面積雪量	0.0042	0.6584	0.0899	1.9867	0.0472	推定路面積雪量	0.0632	-0.3708	-0.0430	-1.1703	0.2422
	降雪量		-10.6338	-0.1071	-2.3745	0.0178	降雪量		-9.9253	-0.1000	-2.1901	0.0288	降雪量		0.2758	0.0376	0.8478	0.3968
	温度						温度		-0.3102	-0.0350	-1.0189	0.3085	温度		-17.7241	-0.1785	-3.9284	0.0001
能生 ～ 名立谷浜	推定路面積雪量	0.0166	-1.6532	-0.1211	-2.9870	0.0029	推定路面積雪量	0.0372	-1.7781	-0.1303	-3.2429	0.0012	推定路面積雪量	0.0388	-0.3617	-0.0408	-1.2249	0.2209
	降雪量		-2.9996	-0.0231	-0.5695	0.5692	降雪量		-6.8488	-0.0527	-1.2976	0.1947	降雪量		-2.2213	-0.2736	-7.6652	0.0000
	温度						温度		1.5681	0.1512	4.6341	0.0000	温度		-1.6466	-0.1206	-2.9733	0.0030
中郷 ～ 上越高田	推定路面積雪量	0.1240	-0.4964	-0.3547	-10.1614	0.0000	推定路面積雪量	0.1408	-0.3850	-0.2751	-6.9453	0.0000	推定路面積雪量	0.1412	-3.2249	-0.0248	-0.5632	0.5734
	降雪量		-0.1433	-0.0015	-0.0430	0.9657	降雪量		-5.1794	-0.0543	-1.4719	0.1414	降雪量		1.5884	0.1531	4.6948	0.0000
	温度						温度		2.0264	0.1547	4.1141	0.0000	温度		0.1719	0.0623	1.6238	0.1047
巻湯東 ～ 新潟西	推定路面積雪量	0.0400	-0.8436	-0.1709	-5.6098	0.0000	推定路面積雪量	0.0505	-0.6599	-0.1337	-4.1670	0.0000	推定路面積雪量	0.0546	-0.3802	-0.2717	-6.8414	0.0000
	降雪量		-52.4705	-0.1048	-3.3658	0.0008	降雪量		-54.7231	-0.1093	-3.5266	0.0004	降雪量		-8.3473	-0.0875	-1.8817	0.0602
	温度						温度		1.0173	0.1153	3.5229	0.0004	温度		1.7790	0.1358	3.2066	0.0009
豊栄 新潟東港 ～ 聖籠新発田	推定路面積雪量	0.0361	-2.6839	-0.1849	-5.9462	0.0000	推定路面積雪量	0.1349	-2.7778	-0.1914	-6.4948	0.0000	推定路面積雪量	0.1426	-0.3459	-0.0555	-1.1723	0.2414
	降雪量		-10.6889	-0.0352	-1.1315	0.2581	降雪量		-23.1261	-0.0761	-2.5634	0.0105	降雪量		-0.6540	-0.0929	-2.3447	0.0192
	温度						温度		2.6805	0.3182	10.9173	0.0000	温度		-6.8667	-0.1391	-4.3342	0.0000
聖籠新発田 ～ 中条	推定路面積雪量	0.0029	-0.6192	-0.0680	-1.9766	0.0484	推定路面積雪量	0.1349	-1.3525	-0.1485	-4.5446	0.0000	推定路面積雪量	0.1595	-6.9364	-0.1396	-4.1658	0.0000
	降雪量		9.1901	0.0609	1.7708	0.0769	降雪量		-23.0541	-0.0761	-2.5634	0.0105	降雪量		0.5381	0.0610	1.5230	0.1281
	温度						温度		2.8109	0.3783	12.5295	0.0000	温度		-0.6546	-0.1335	-3.2113	0.0014

表 3. トラフィックカウンターの設置区間及び  
利用気象データ観測地点

区間	キロポスト	積雪観測点	温度,風速観測点
小千谷～長岡	237.7	長岡南越路SIC	須川橋
米山～柏崎	391.1	柏崎IC	柏崎TN
柏崎～西山	403.1	西山IC	曾地橋
中之島見附～三条燕	443.5	三条燕IC	栄PA
塩沢石打～六日町	179.1	塩沢石打IC	中之島橋
堀之内～越後川口	218.5	越後川口IC	魚野川橋
親不知～糸魚川	309.1	糸魚川IC	高畑高架橋
能生～名立谷浜	338.4	名立谷浜IC	徳合川橋
中郷～上越高田	196.2	上越高田IC	儀明川橋
豊栄新潟東港～聖籠新発田	22.8	豊栄新潟東港IC	見透川橋
聖籠新発田～中条	34.2	中条IC	見透川橋

区間,期間によって R2 乗値に大きくばらつきがある.R2 乗値が低いところの特徴に積雪が少なく,ほとんど速度低下が発生していないというものがあるため,ある程度降積雪が発生していないと推定が難しいと考えられる.そのような状況になっている例として,図 3,4,5 に 11,12 日,24,25 日それぞれの北陸自動車道親不知IC-糸魚川IC間上り線 309.1 キロポスト地点の降

融雪量と推定路面積雪量と速度のグラフを表す.路面積雪量の推定のために用いた積雪量は糸魚川IC(311.9 キロポスト付近)で観測されたデータを用いた.速度は四分位範囲の 1.5 倍を上下限として外れ値を排除している.

また,温度を加えて分析することで大きく R2 乗値が上がり,再現性が改善した地点が多くみられる.積雪量と降雪量で分析した場合とそれに温度を加えて分析した場合で R2 乗値が大きく改善している部分が多く,積雪量,降雪量,温度,風速を用いて分析した場合 1 月 11,12 日では 8 ヲ所中 5 ヲ所,1 月 24,25 日では 12 ヲ所中 7 ヲ所で温度の標準偏回帰係数の絶対値が一番高いことから,温度が速度に多くの地点で影響を及ぼしていると考えられる.

風速は地点によりまちまちであるが,p 値が低い地点,係数が正になっており風速が強いほど速度が速くなる地点が多く見られ,多くの地点で影響をあまり及ぼしていないことが伺える.

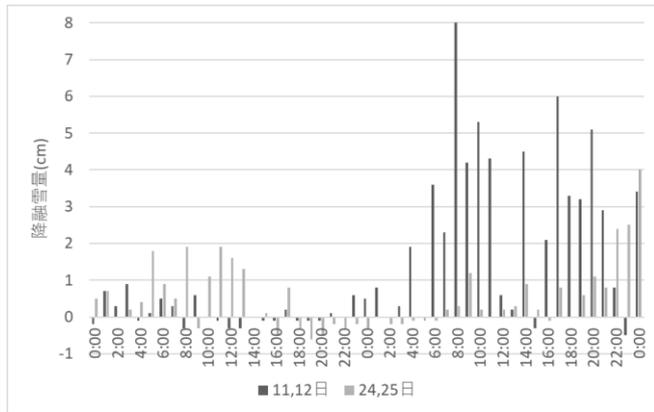


図3. 北陸自動車道 親不知-糸魚川間の降融雪量

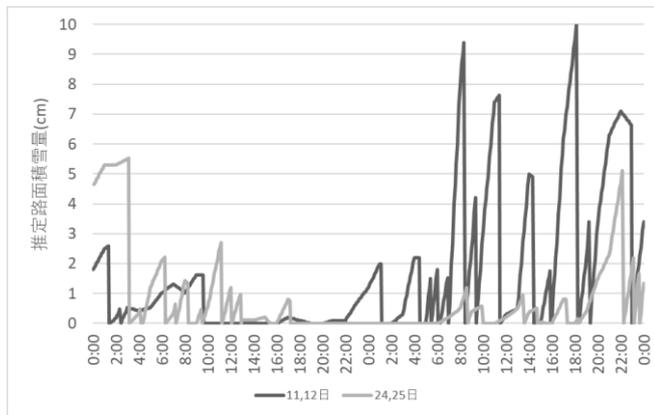


図4. 北陸自動車道 親不知-糸魚川間の  
推定路面積雪量

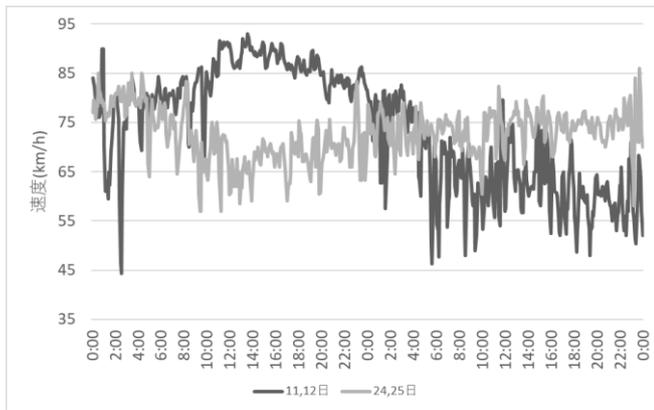


図5. 北陸自動車道 親不知-糸魚川間の  
トラフィックカウンターの速度

## 5. まとめ

除雪を考慮した路面積雪量の推定を行い,路面積雪量,降雪量,温度,風速を用いて速度を求めるモデルを回帰分析で作成した.

結果,それぞれの現象による速度の低下が見られていると伺える地点である程度予測できるモデルができていたと考える.一方,それぞれの現象による速度の低下が見られていない部分ではあまり予測できるモデルが作成できなかった.

今後は多くの地点で少なくとも積雪に関する速度低下に関しては予測できるように積雪による速度低下が見られる地点,日について分析を行いたい.

## 謝辞

本稿作成に当たりましては, 東日本高速道路株式会社よりデータを提供していただきました.

この場をお借りしまして, 謝意を表します.

## 参考文献

1) 谷村亮介「気象および交通データ解析に基づく積雪期における速度低下の推定手法」