

気温による森林地域のNDVI推定モデルの開発

野口 泉 布和敖斯尔 高田 雅之 濱原 和広 高橋 英明 玉田 克巳

要 約

衛星画像解析などで植物の状態を把握するためによく用いられる正規化植生指数（NDVI）について、森林地域を対象に気温と緯度経度などの位置情報からその値を推定するモデルを開発した。モデル作成に用いたNDVI観測値は、2003年のSPOT4/VEGETATIONによる10日間最大値データである。推定に用いた気温データは、森林地域に分類される2003年AMeDAS局173地点のデータである。モデル入力値としては、NDVI観測値に対応する10日間移動平均気温の中から、相関が高かった地点が最も多かった10日前から前日までの平均気温のデータセットを選択した。モデル作成に当たっては、雲の影響などにより、NDVIが低い値となった異常観測値を除外し、さらに植生の影響を考慮し、湿量指数による5区分で検討した。NDVI値は、夏期及び冬期に、定値を示す限界点があることから、この限界点を気温で推定し、これを超えた場合は一定温度を入力値とし、その間は最小二乗法により直線近似を行うモデルを用いた。モデルの検証の結果、NDVI推定値と観測値の相関係数は0.968、また全地点の推定値と観測値の差の平均は0.087と、高い精度の地点モデルが得られた。さらに各地点モデルを推定する地域モデルの開発を行った。推定に用いた要素は、緯度、経度、標高、平均気温及び湿量指数である。地域モデルにより得られたNDVI推定値と観測値との相関係数は0.923と高く、全地点の差の平均は0.131であり、高い精度でNDVIを推定できた。

Key Words: NDVI、森林、モデル、気温

1 はじめに

地表面の植物、土壌、水域、岩石、雪などは太陽光に対して、それぞれの反射特性または放射特性をもっている。この地表面から反射や放射によって発せられる電磁波（可視光～マイクロ波）を、人工衛星や航空機などに搭載された光学センサーは、一定の周波数帯（チャンネル）ごとに観測している。その中で、植物の葉の中に含まれるクロロフィルは、赤色の光を吸収する一方で、近赤外領域の波長は強く反射する特性があるため、光学センサーで得られたデータのうち可視赤色（R）と近赤外（NIR）の反射強度の差や比を用いた以下の数式で、植物のバイオマスや活性度を推定することができる。この値は植生指数と呼ばれ、以下の数式で得られる正規化植生指数（以下NDVI：Normalized Difference Vegetation Index）が、地表面を覆う植物量の大小、あるいはその活性度を推定する指標として広く用いられている。

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

ここで、Rは赤色（SPOT4/VEGETATIONの場合Band2：610-680nm）、NIRは近赤外（SPOT4/VEGETATIONの場合Band3：780-890nm）で得られる反射率である。なお、NDVIには単位はなく、通常-1～1までの数値で表される。

NDVIは植生状況調査、森林面積などの経年的変化、土地被覆分類、農作物の生育状況の把握などに用いられているが、近年はさらに森林の活動状況の指標としても用いられ、それに対応する二酸化炭素の吸収量評価などにも用いられている^{1~5)}。同様に、今後は植物による大気汚染物質の取り込み（大気浄化作用とも呼ばれ、大気汚染物質の沈着過程の一形態）の量に関する評価にも、その応用が期待される場所である。このため、NDVIの時系列変化や空間的分布情報は極めて有用な情報となる。しかし、NDVIは衛星や航空機からの光学センサーの目によって捉えた情報を数値化したものであり、雲の存在、あるいは樹木の隙間から覗く地表面の状態（融雪や降水直後の濡れた状態）などにより、その値はしばしば大きな誤差を含むこととなる。特に観測距離の大きい衛星から得られたNDVIは解像度が低くなるため、近隣の土地利用の割合（市街地の中の緑など）にも影響を受ける。このようなことから、NDVI観測値が含む誤差を評価し、誤差が大きい場合には推定値を用いるなどの対応を迫られる場合も少なくない。

雲の影響などを補正する方法としては、最大値合成画像やBISE (Best index slope extraction) 法が用いられる^{6~7)}。しかし、これらの方法は、衛星通過時に連続して雲がある場合には期間内の十分な値が得ることができない。

また、モデルによる推定値を用いる方法としては、気象

データを用いたモデルが提唱されている。石原ら (2004) は平均気温の積算値が最もNDVIの推定に有効であることを報告し、地点ごとのモデルを作成している⁸⁾。しかし、地点ごとのモデルの場合、新たな地点のNDVIを推定するには、衛星画像情報を基に新しくモデルを作成する必要がある。

また池などを含むメッシュデータの場合や融雪時期などの毎年繰り返される現象時には森林を対象としたNDVI値に誤差が必ず含まれることとなり、この誤差が無視できない場合は地点モデルだけでは植物の状況を把握することが困難となる。

これらのことから、本研究では、森林地域のNDVIを対象に、地点情報（緯度、経度、標高など）と気象データ（気温など）から日本全国の任意の地点、任意の日付におけるNDVIを推定するためのモデル開発を試みた。

2 データセット及び解析方法

NDVIは気象、植生・生態系、土壌、水文などの要素と密接な関係がある。石原ら (2004) は、気象データによるNDVIの推定モデルの開発を行い、降水量、日射量などについても検討したが、降水量が比較的多く、乾季のない日本では主に平均気温が最も精度よく推定できる要素であることを報告している⁸⁾。

これらのことを踏まえ、本報ではデータセットとして以下のNDVI観測値、気温データを用いた。

(1) NDVI観測値

2003年SPOT4/VEGETATIONの10日間最大値データ（地上分解能：約1km）を用いた。データは、各月1日、11日、21日を測定開始日とし、その後の10日間で得られた期間内の最大NDVI観測値であり、月に3個のメッシュデータが得られる。なお、データはVlaamse Instelling voor Technologisch OnderzoekのWeb上からダウンロードした⁹⁾。

(2) 気温データ

2003年度の気温データが得られるAMeDAS局（1447地点）の内、3次メッシュ（1kmメッシュ）として森林の土地利用割合が最大の地点を抽出した¹⁰⁾。また、水面が全体の15%以上の場合はNDVI観測値に誤差を生じる可能性が高いと考え除外した。さらに、得られた気温データに1日以上欠測がないこと、温量指数算出のための月平均気温の平年値、あるいは過去5年以上の月平均気温が得られることを条件に、173地点を抽出し、解析対象とした。解析対象地点を表1に示す。

解析に際しては、リモートセンシング専門ソフトERDAS-ImagineとGISソフトであるArc View 8.3を用い、さらに、グリッドデータ解析プログラム[雲底標高評価プ

ログラム（製作：GIS北海道株式会社）]などを用いた。

3 解析結果及び考察

本研究におけるNDVI推定モデルの開発は、(1) 入力する気温データの抽出、(2) 個々の地点にのみ対応する地点モデルの開発、(3) 地域内の地点モデルを位置情報（緯度、経度、標高など）などにより推定する地域モデルの開発の手順で行った。

3.1 入力気温データ

植物の活性度は、当日の気温より何日か前の気温などの影響を受けている。この時間的ずれをここではタイムラグと呼ぶこととし、入力値である気温について、NDVI値の推定に最も適したタイムラグ日数を求めた。

石原ら (2004) は次式に示すように地点ごとに平均気温の積算値を入力値としてNDVIを推定した。

$$NDVI = F(\sum Temp.) \quad (F: \text{関数、Temp.: 気温})$$

その結果、種々の土地利用の地点を対象としたときに最も相関が高かったのは、NDVI観測日の28日前からの積算気温であったことを報告している。

本報では、NDVI観測値が10日間毎であることから、気温の10日間の平均気温データグループ（10日間移動平均気温）から、適正なタイムラグ日数を求めた。雲の誤差などを含むすべてのNDVI観測値と10日間の平均気温の相関を解析した結果、図1に示すように、相関係数の平均が0.6以上のグループ（159地点）において、相関係数が最大となったタイムラグ日数が最も多かったのは10日であった。このことから、すべての地点においてタイムラグ日数10日の場合の10日間平均気温（以下「入力気温データ」と呼ぶ）を入力値としてNDVI推定モデルを作成した。なお、このことは、SPOT/VEGETATIONによるNDVI観測値が各月1日、11日、21日区切りの期間内最大の観測値であることから、入力値として1旬前の旬ごとの気象データを近似値として用いることが可能であり、入手しやすさ、及びデータの整理においても極めて有効な結果となった。

3.2 地点モデルの開発

地点モデルの開発にあたっては、植生の違いによる影響を考慮すべく、温量指数(WI)による区分ごとに解析を行った。温量指数は2000年度の月平均気温の平年値（平年値がない場合は、過去5年以上の月平均気温）を用いて算出している。

WIは、吉良ら(1949)が提案した指標であり、植生区分と適合することが良く知られている。WIは以下に示すように、各月の平均気温から5℃を差し引いた値（ただし、5℃以下の場合は0とする）の年積算値である。本指標は

表 1 解析対象地点

Prefecture	Station No.	Station Name	Latitude (degree)	Longitude (degree)	Altitude (m)	Warm Index	Prefecture	Station No.	Station Name	Latitude (degree)	Longitude (degree)	Altitude (m)	Warm Index
北海道	11121	沼川	45.248	141.852	31.0	48.7	愛知	51281	蒲郡	34.845	137.217	61.5	129.7
北海道	12746	占冠	42.978	142.395	338.5	51.4	愛知	52041	河合	36.305	137.100	480.4	82.9
北海道	15041	朱野	44.282	142.162	263.0	49.1	愛知	52081	白河	36.273	136.897	487.4	84.9
北海道	15231	空知	43.595	141.732	108.0	59.3	愛知	52111	尾柄	36.248	137.505	773.4	75.6
北海道	15442	野張	43.038	141.957	304.5	56.4	愛知	52181	六軒	36.060	137.033	1023.0	59.9
北海道	16026	美張	43.272	140.563	83.0	61.0	愛知	52196	宮之	36.015	137.388	939.4	67.9
北海道	16286	興茂	42.793	140.948	272.0	54.6	愛知	52331	八幡	35.758	136.980	256.8	97.6
北海道	17076	夕興	44.470	143.108	14.5	49.5	愛知	52346	宮之	35.767	137.287	429.4	93.6
北海道	18256	別部	43.383	145.115	29.5	48.1	愛知	52381	樽見	35.638	136.603	197.5	98.9
北海道	18311	厚床	43.230	145.255	36.5	44.8	愛知	52482	黒川	35.598	137.318	526.4	95.6
北海道	19076	寒湖	43.433	144.087	438.5	44.7	愛知	53091	三重	34.870	136.452	76.5	116.5
北海道	19451	阿方	42.937	144.735	155.5	43.1	愛知	53401	三富	33.932	136.140	29.4	141.3
北海道	20186	糠学	43.367	143.192	546.5	44.0	愛知	55166	上野	36.670	137.422	302.5	91.4
北海道	21161	滝野	42.670	141.078	398.0	50.9	愛知	55206	八尾	36.578	137.132	97.5	104.2
北海道	21171	森野	42.627	141.255	156.5	54.4	愛知	56286	石川	36.362	136.613	186.5	99.2
北海道	22036	日高	42.877	142.442	286.5	55.0	愛知	56301	鳥山	36.225	136.358	132.5	101.7
北海道	22156	新和	42.543	142.333	66.5	59.7	愛知	57001	三井	36.237	136.142	89.3	107.5
北海道	22291	三石	42.245	142.662	16.5	56.8	愛知	57206	井庄	35.767	136.200	134.5	100.8
北海道	23206	南茅	41.905	140.970	31.5	63.1	愛知	60102	今山	35.383	136.343	153.5	103.5
北海道	23326	古田	41.687	140.445	15.4	65.7	愛知	60226	滋賀	34.913	136.080	271.5	94.0
青森	31201	蟹内	41.045	140.633	12.9	71.9	愛知	61111	信舞	35.450	135.317	43.4	114.1
青森	31366	鯉ヶ	40.777	140.205	46.5	79.3	愛知	61206	美山	35.275	135.550	208.1	99.8
青森	31482	酸ヶ	40.648	140.848	900.5	48.0	愛知	61326	京田	34.810	135.772	56.5	117.5
青森	32206	湯ヶ	40.120	140.838	242.5	72.7	愛知	62081	都生	34.675	135.677	639.0	90.6
秋田	32266	八幡	40.013	140.802	584.5	58.3	愛知	63051	大庫	35.535	134.822	15.9	112.4
秋田	32311	角平	39.992	140.405	126.5	78.0	愛知	63076	兵庫	35.467	134.598	226.5	97.1
秋田	32466	阿館	39.603	140.557	62.5	85.0	愛知	63201	庫野	35.167	134.795	334.2	101.5
秋田	32496	角館	39.527	140.233	26.5	82.2	愛知	63251	兵庫	35.098	134.583	201.5	105.5
秋田	32771	大正	38.960	140.528	341.5	75.3	愛知	64206	奈庫	34.137	136.005	340.5	100.2
山形	35116	金折	38.878	140.332	176.5	78.9	愛知	65061	上野	34.222	135.590	801.5	83.0
山形	35216	鼠ヶ	38.607	140.163	338.5	68.7	愛知	65121	高水	34.087	135.425	246.5	106.6
山形	35246	嵐ヶ	38.555	139.555	13.5	92.5	愛知	65162	清龍	33.945	135.557	416.5	115.1
山形	35361	井沢	38.390	139.993	448.5	67.7	愛知	65201	和川	33.893	135.217	93.4	132.5
山形	35541	大高	37.998	139.957	258.5	79.0	愛知	65256	和栖	33.792	135.513	166.5	113.2
山形	54421	津川	37.672	139.447	108.0	92.1	愛知	65276	和宮	33.687	135.970	27.4	140.5
新潟	54566	入種	37.357	139.072	246.7	87.8	愛知	65306	和山	33.637	135.710	156.5	113.7
新潟	33006	種手	40.403	141.700	76.5	70.3	愛知	65356	和山	33.450	135.760	88.1	144.0
岩手	33026	軽米	40.318	141.470	159.5	71.4	愛知	66091	山千	35.103	133.435	531.5	82.6
岩手	33136	山葛	40.148	141.570	296.5	66.7	愛知	66136	山新	35.118	134.327	246.5	101.7
岩手	33186	山形	40.038	141.437	396.5	69.0	愛知	66221	山見	34.942	133.518	399.5	93.5
岩手	33206	山形	40.003	141.883	13.5	72.1	愛知	66296	山福	34.867	133.903	70.9	109.6
岩手	33326	山形	39.842	141.797	118.5	77.2	愛知	66306	山和	34.815	134.183	41.5	108.6
岩手	33371	山形	39.783	141.328	686.5	53.9	愛知	67016	山島	35.033	132.902	576.5	81.9
岩手	33526	山形	39.598	141.682	198.5	78.8	愛知	67116	山島	34.860	133.023	315.4	95.7
岩手	33616	山形	39.450	141.957	30.5	76.3	愛知	67151	山島	34.767	132.465	391.5	89.8
岩手	34012	山形	38.913	140.828	531.5	65.3	愛知	67191	山島	34.763	133.278	516.5	85.1
岩手	34186	山形	38.678	141.450	44.5	82.7	愛知	67292	山島	34.545	132.530	76.4	120.1
岩手	34311	山形	38.303	140.635	270.5	77.2	愛知	67326	山島	34.583	133.237	106.5	113.7
岩手	34331	山形	38.338	141.013	111.5	86.6	愛知	67496	山島	34.222	132.220	26.1	125.6
岩手	36056	山形	37.892	140.437	206.5	86.6	愛知	68091	山島	35.520	133.022	11.5	112.1
福島	36196	山形	37.668	140.260	1226.5	48.5	愛知	68261	山島	35.198	132.817	222.9	100.0
福島	36341	山形	37.452	139.525	330.5	82.3	愛知	68306	山島	35.002	132.712	450.5	89.4
福島	36501	山形	37.335	140.808	416.5	78.4	愛知	68351	山島	34.977	132.492	138.5	103.8
福島	36562	山形	37.277	140.063	646.5	70.5	愛知	68431	山島	34.777	132.108	389.5	91.7
福島	36591	山形	37.287	140.625	439.5	80.9	愛知	68516	山島	34.462	131.770	172.9	109.8
福島	36676	山形	37.147	140.452	296.5	88.9	愛知	68546	山島	34.353	131.935	296.5	100.7
福島	36716	山形	37.025	139.385	938.5	61.9	愛知	69246	山島	35.263	134.240	188.5	100.8
茨城	40046	北茨	36.842	140.770	53.5	97.5	愛知	71087	山島	34.040	134.157	169.4	124.3
茨城	40061	北茨	36.778	140.345	126.5	95.7	愛知	71191	山島	33.868	133.903	566.5	91.2
茨城	41116	北茨	36.893	139.568	933.0	60.3	愛知	71251	山島	33.772	134.205	336.5	103.6
茨城	41166	北茨	36.738	139.500	1303.1	52.7	愛知	72161	山島	34.120	133.772	74.3	120.3
茨城	43171	北茨	35.985	139.335	50.9	107.1	愛知	74071	山島	33.753	133.577	256.5	108.3
茨城	42046	北茨	36.865	139.058	708.5	69.1	愛知	74296	山島	33.390	132.922	421.5	102.5
群馬	42121	北茨	36.617	138.592	1229.5	58.7	愛知	81011	山島	34.615	131.623	56.5	117.2
群馬	42221	北茨	36.463	138.463	1236.5	58.0	愛知	81196	山島	34.235	131.307	246.5	105.3
群馬	42326	北茨	36.245	138.707	381.5	91.8	愛知	81231	山島	34.262	131.958	100.8	106.0
群馬	42396	北茨	36.108	138.897	365.5	93.7	愛知	81386	山島	34.022	131.873	59.9	120.2
群馬	48196	北茨	36.548	137.997	518.5	88.3	愛知	82206	山島	33.560	130.853	126.5	119.2
群馬	48321	北茨	36.383	138.383	964.5	73.6	愛知	83341	山島	33.065	131.632	106.5	118.9
群馬	48331	北茨	36.342	138.547	1014.1	63.7	愛知	83431	山島	32.845	131.675	206.5	110.3
群馬	48466	北茨	36.088	137.683	1074.5	65.1	愛知	84171	山島	33.360	129.550	70.4	130.2
群馬	48531	北茨	35.938	137.602	1138.5	60.8	愛知	84519	山島	32.737	130.262	688.3	96.0
群馬	48541	北茨	35.983	137.835	924.5	78.2	愛知	85161	山島	33.117	129.995	89.0	118.2
群馬	48546	北茨	35.982	137.983	735.5	85.3	愛知	86006	山島	33.115	129.692	125.5	116.1
群馬	48717	北茨	35.610	137.620	566.5	88.5	愛知	86066	山島	33.097	131.068	446.5	99.6
群馬	48826	北茨	35.373	137.692	946.5	71.6	愛知	86216	山島	32.612	130.478	66.5	139.8
群馬	48841	北茨	35.322	137.932	416.5	97.7	愛知	86271	山島	32.515	130.447	10.1	134.7
群馬	49196	北茨	35.528	138.615	560.5	97.0	愛知	86316	山島	32.468	130.180	36.5	134.1
群馬	49256	北茨	35.437	138.837	998.5	68.8	愛知	87041	山島	32.712	131.290	358.0	111.7
群馬	45326	北茨	35.235	140.098	126.5	107.2	愛知	87071	山島	32.643	131.157	596.5	96.2
群馬	44172	北茨	34.748	139.362	101.1	129.6	愛知	87181	山島	32.408	131.600	29.3	141.3
群馬	50386	北茨	34.872	137.815	71.8	128.2	愛知	87206	山島	32.385	131.332	256.5	113.4
							愛知	87231	山島	32.230	131.152	256.5	118.9
							愛知	87411	山島	31.803	131.458	17.5	148.5
							愛知	88286	山島	31.670	130.850	390.5	120.8
							愛知	88666	山島	30.407	130.900	156.5	160.7
							愛知	88686	山島	30.382	130.658	46.0	170.2
							愛知	91011	山島	26.927	127.940	65.4	204.5
							愛知	91021	山島	26.833	128.272	238.5	186.0
							愛知	91181	山島	26.210	127.363	226.5	191.7
							愛知	94101	山島	24.263	123.872	36.1	222.5

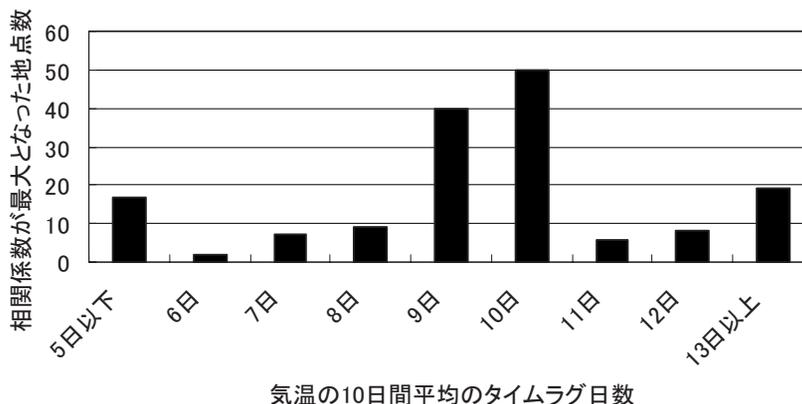


図1 気温の10日間移動平均値とNDVIの相関

5℃以下の場合には植物がほぼ休眠状態となることを利用している。

$$WI = \sum \{ \text{Max} (\text{Temp}_{\text{月平均}} - 5, 0) \}$$

温量指数 (WI) による区分は、以下の理由により55以下、 $55 < WI \leq 70$ 、 $70 < WI \leq 85$ 、 $85 < WI \leq 100$ 、 $WI > 100$ の5区分とした。

- (1) 日本は暖かさの指数で10から230の範囲を占める¹²⁾。
- (2) WI85の区分は吉良ら(1949)により冷温帯と温暖帯に分けられる区分であり、広く用いられている¹¹⁾。
- (3) WI85及び55の区分は、環境省による生物多様性保全のための国土区分において、それぞれ常緑広葉樹と落葉広葉樹の分布を境界付ける85と北海道の亜寒帯(北方針葉樹林帯)と冷温帯(夏緑樹林帯)の区分の境となる55が用いられている¹³⁾。
- (4) WI100の区分は、ブナ林とスダジイ林がほぼ完全に分離している区分と報告されている¹²⁾。
- (5) WI70の区分はWI85及び55の中間値である。

NDVI観測値は図2に示すように雲の影響などを受け、前後の値に比べ、大きく減少する異常値がしばしば見られる。また、WIが小さい地域と他の地域の最高値の差はないが、最低値に差がみられ、WIが小さい地域は年間の変動が大きいことが分かる。このとき、WIが小さい地域などでは冬期のNDVI観測値は低く横ばいを示し、低温の場合、一定温度以下はNDVIが変動しない低温限界温度があることが分かる。また、夏期のNDVI観測値が頭打ちになる場合も多くみられ、いわゆる森林密度が高い地域で観測されるNDVI値の飽和現象がみられる。このことから、低温と共に高温の場合も限界があると考えられた。ただし、低温の場合と異なり、実際の抑制要素は日射(光合成の光飽和など)などが考えられ、高温限界は見かけ上得られる値と考えられた。

石原ら(2004)はこれらの低温及び高温限界温度にて一

定の値をとるNDVI推定モデルとして、ロジスティック回帰モデル及び二重指数回帰モデルを検討し、温度上昇による立ち上がり部分がより急激なカーブとなる二重指数回帰モデルがより適当であるとの結論を得ている。我々は、簡易なモデルとして、低温(高温)限界温度以下(以上)は入力気温データを限界温度とし、その間を直線回帰とする方法を選択した。なお、低温及び高温限界温度は、前述のWIによる区分毎に検討を行った。

低温及び高温限界温度は、WI区分ごとに入力気温データとNDVI観測値の相関を解析し、決定した。すなわち、低温の場合は、1℃刻みでその温度以下の場合はその温度が入力値となるように設定し(高温の場合はその温度以上の場合はその温度を入力値とした)、算出した相関係数が最も高くなった時の温度を限界温度とした。その結果、表2に示すようにWI区分ごとの低温及び高温限界温度が得られた。なお、解析にあたっては、低温側は入力気温データの中央値以下を用い、高温側を評価するに当たっては、入力気温データの中央値以上を用いて解析を行っている。

以下に地点モデルの式を示す。

$$\text{NDVI地点モデル値} = a \times \text{Temp}_{\text{cal}} + b$$

Temp_{cal}: 入力気温データ。ただしWI区分ごとの低温(高温)限界温度以下(以上)は限界温度を入力値とする。

ここで、a及びbは地点ごとの回帰分析で得られる係数である。

またモデル作成にあたっては、雲の影響などを受けたNDVIの異常値を除去する必要があるため、以下に示すように、段階的にモデルを補正した。なお、異常値の検定に用いた値の差0.15は、ノイズ値や雲・大気の影響によるエラー値が0.1-0.2程度であるとの既存の報告から決定した¹⁴⁻¹⁶⁾。

- (1) NDVI観測値に対し、1回目のモデル値を作成。
- (2) 1回目のモデルで判定されたNDVI異常値(観測値

が0.15以上、下回る値)の代わりに1回目のモデル値を用い、2回目のモデル値を作成。

- (3) 2回目のモデルで判定されたNDVI異常値の代わりに2回目のモデル値を用い、3回目の地点モデルを作成し、得られた要素を用いて地点モデルとした。

3.3 地点モデルの検証

地点モデルの要素を表3に、またモデルで得られたNDVI値と異常値を削除したNDVI観測値の比較を図3及び4に示す。

全地点の差(絶対値)の平均は0.087と小さく、高い精度で推定されていた。また、図5に示すように両値の相関はかなり高く、相関係数は0.968を示した。なお、相関図は雲の影響などを除外するため、異常値を削除したことによ

り、予測値より大きく低い値が削除された分布となった。

ここで、雲の影響と異常値の検出結果の比較を示す。気象官署144局における2003年度の10時及び12時の雲量観測データを用い、時間の重み付けによりSPOT通過時間に近い10:30の雲量データを推定すると共に、GISソフトであるArc View 8.3により、対象期間の最小雲量による全国のコンターマップを作成した。さらに、NDVI観測値を得たAMeDAS局の173地点におけるメッシュ値(1Km×1Km)を抽出し、NDVI異常値との比較を行った。その結果、図6に示すように、5-10月の暖候期は梅雨の時期など、雲量が多い場合に異常値が出現しており、類似したパターンが得られた。しかしながら、WIの小さい地域(北あるいは高地)では、雲量が少ない場合でNDVI観測値が異常値と判断されるケースが特に融雪時期にみられ、より寒冷

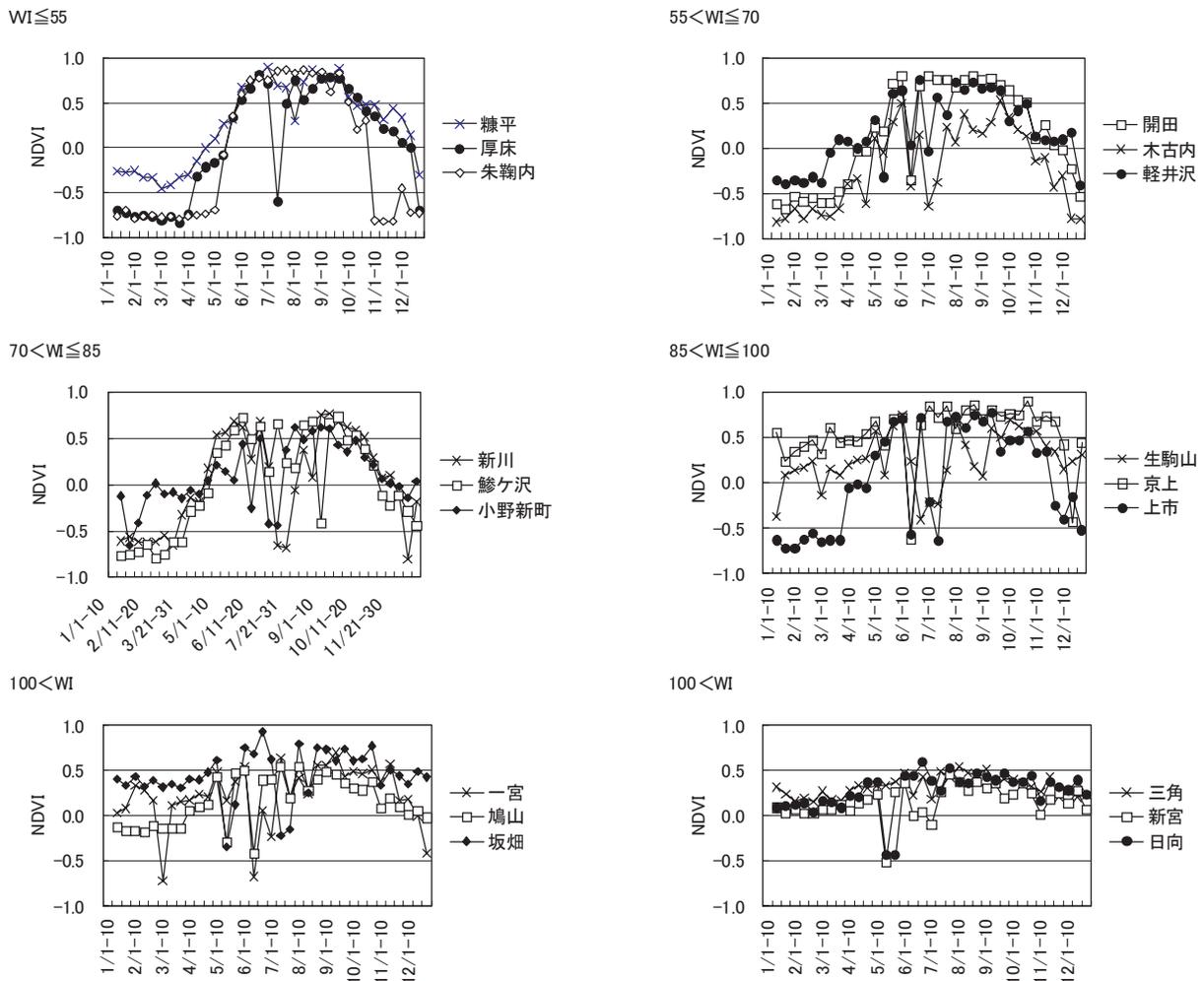


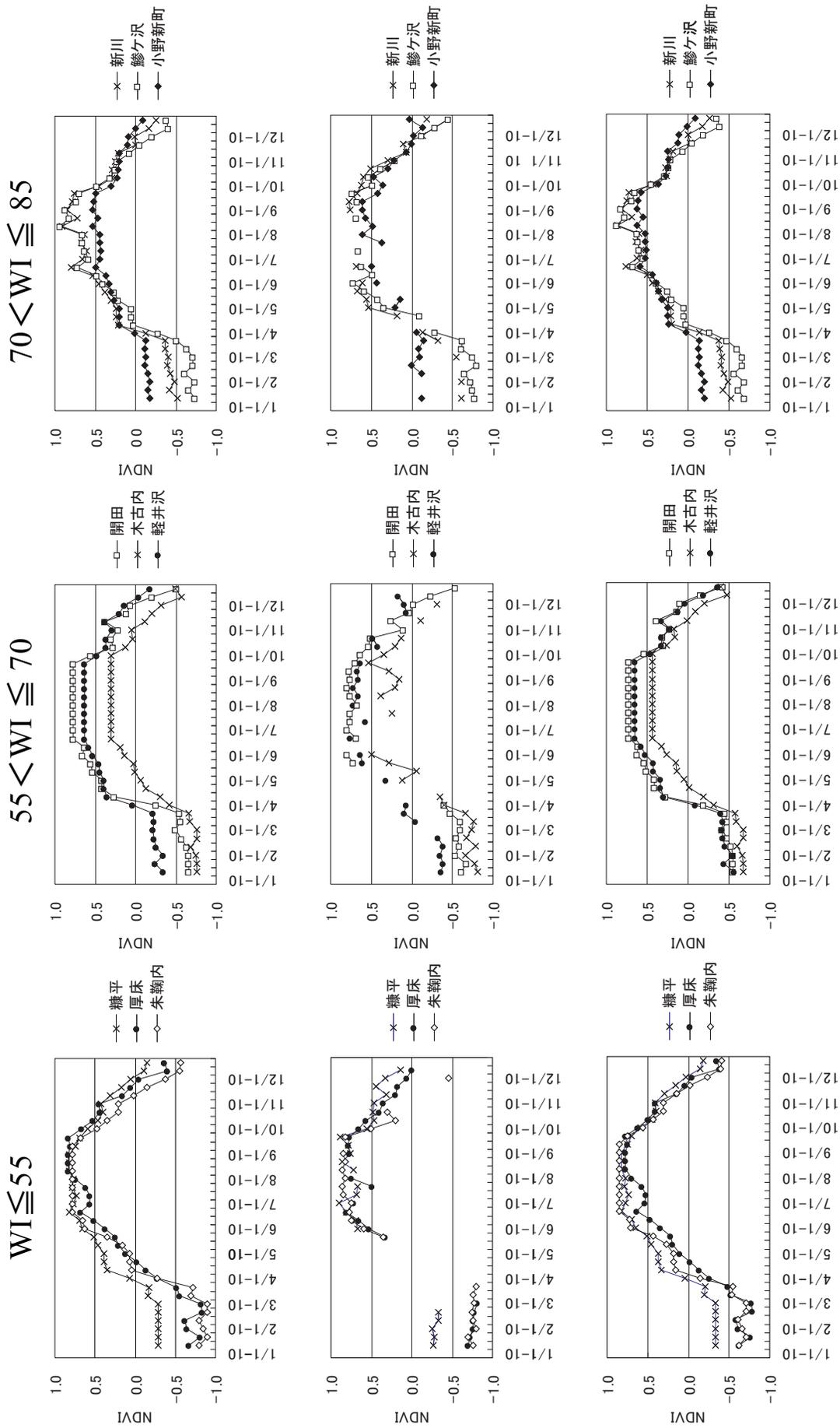
図2 NDVI観測値の変動事例

表2 WI区分毎における低温及び高温限界値

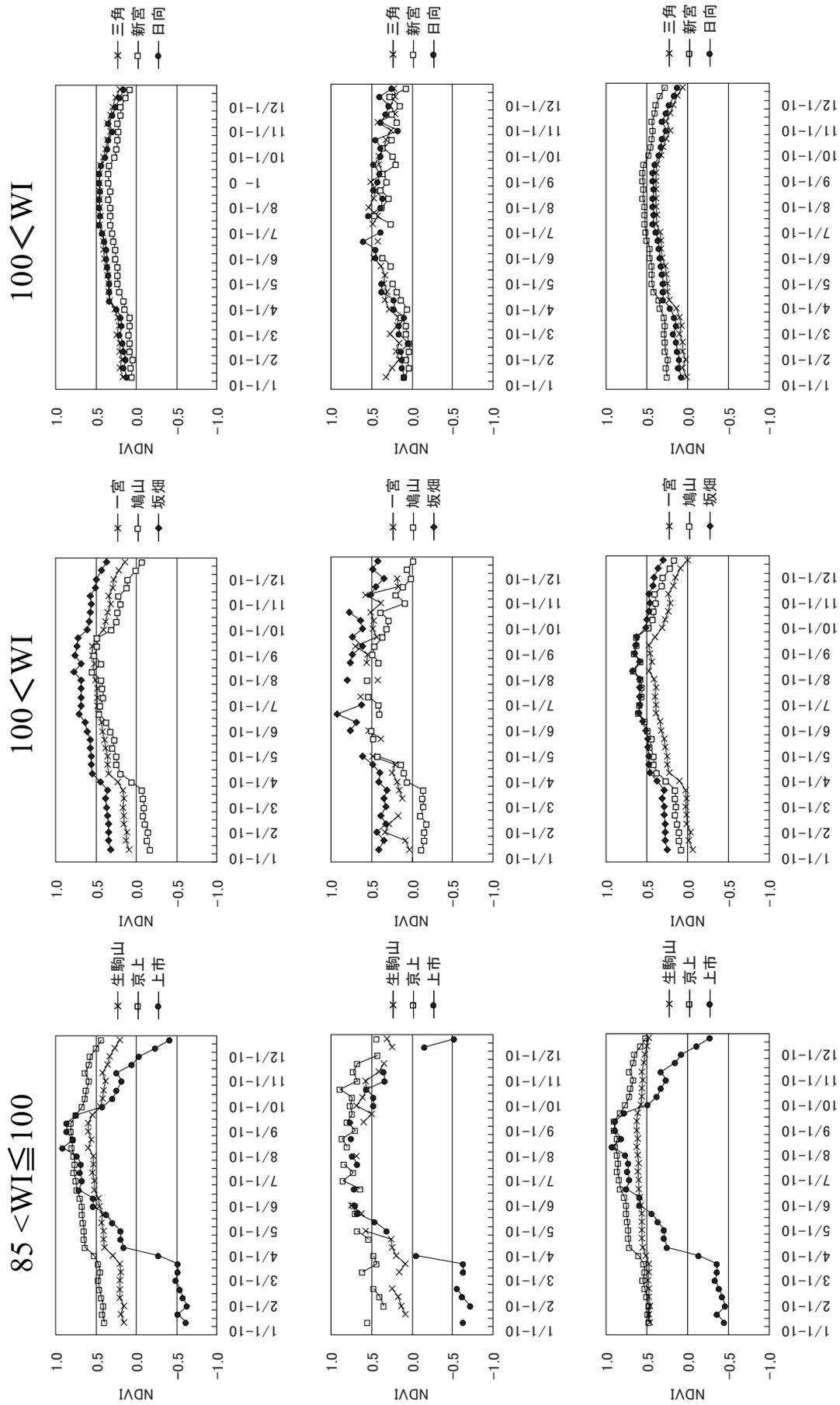
	WI ≤ 55	55 < WI ≤ 70	70 < WI ≤ 85	85 < WI ≤ 100	100 < WI
低温限界	-10°C	- 5°C	- 3°C	- 3°C	0°C
高温限界	15°C	15°C	22°C	24°C	26°C

表3 地点モデル

Prefecture	Station No.	Station Name	Slope a	Intercept b	Min.limit of temp.(°C)	Max. limit of temp.(°C)	Prefecture	Station No.	Station Name	Slope a	Intercept b	Min.limit of temp.(°C)	Max. limit of temp.(°C)
北海道	11121	沼川	0.497	0.065	-10	15	愛知	51281	蒲郡	0.014	0.339	0	15
北海道	12746	古冠	0.384	0.058	-10	15	岐阜	52041	河合	0.063	-0.504	-3	15
北海道	15041	朱鞠	0.248	0.067	-10	15	岐阜	52081	白川	0.064	-0.633	-3	15
北海道	15231	空知	0.266	0.073	-5	15	岐阜	52111	尾	0.054	-0.285	-3	15
北海道	15442	夕張	0.294	0.069	-5	15	岐阜	52181	之	0.071	-0.321	-5	15
北海道	16026	美幌	0.441	0.090	-5	15	岐阜	52196	宮	0.059	-0.152	-5	15
北海道	16286	喜茂	0.245	0.065	-10	15	岐阜	52331	八	0.019	0.173	-3	15
北海道	17076	喜別	0.335	0.068	-10	15	岐阜	52346	宮	0.011	0.237	-3	15
北海道	18256	別海	0.342	0.065	-10	15	岐阜	52381	樽	0.029	-0.003	-3	15
北海道	18311	厚床	0.385	0.070	-10	15	岐阜	52482	見	0.005	0.449	-3	15
北海道	19076	阿寒	0.511	0.039	-10	15	岐阜	53091	山	0.022	0.062	0	15
北海道	19451	阿知	0.245	0.067	-10	15	三	53401	熊	0.008	0.421	0	15
北海道	20186	糠平	0.299	0.044	-10	15	三	55166	野	0.061	-0.562	-3	15
北海道	21161	大滝	0.306	0.064	-10	15	富	55206	上	0.042	-0.514	0	15
北海道	21171	森野	0.457	0.065	-10	15	富	56286	八	0.053	-0.602	-3	15
北海道	22036	大森	0.183	0.066	-10	15	石	56301	鳥	0.034	-0.094	0	15
北海道	22156	日新	0.345	0.065	-5	15	石	57001	川	0.034	-0.196	0	15
北海道	22291	新和	0.293	0.071	-5	15	石	57206	井	0.041	-0.322	0	15
北海道	23206	三南	0.415	0.071	-5	15	石	60102	今	0.031	-0.216	0	15
北海道	23326	茅部	0.280	0.061	-5	15	石	60226	山	0.017	-0.101	-3	15
青森	31201	蟹田	0.224	0.059	-3	15	京	61111	信	0.020	-0.278	0	15
青森	31366	鯉ヶ	0.336	0.073	-3	15	京	61206	舞	0.013	0.165	-3	15
青森	31482	酸ヶ	0.454	0.070	-10	15	京	61326	美	0.028	-0.504	0	15
秋田	32206	湯瀨	0.376	0.067	-3	15	京	62081	京	0.018	0.165	-3	15
秋田	32266	八幡	0.325	0.078	-5	15	大	63051	阪	0.026	-0.524	0	15
秋田	32311	阿平	0.416	0.059	-3	15	兵	63076	庫	0.051	-0.423	-3	15
秋田	32466	角館	0.334	0.053	-3	15	兵	63201	庫	0.007	0.179	0	15
秋田	32496	田正	0.298	0.058	-3	15	兵	63251	庫	0.018	0.084	0	15
秋田	32771	大湯	0.428	0.070	-3	15	兵	64206	兵	0.005	0.651	0	15
山形	35116	金折	0.302	0.059	-3	15	和	65061	山	0.008	0.407	-3	15
山形	35216	肘折	0.277	0.093	-5	15	和	65121	山	0.013	0.322	0	15
山形	35246	鼠ヶ	0.363	0.055	-3	15	和	65162	山	0.003	0.692	0	15
山形	35361	大井	0.425	0.084	-5	15	和	65201	山	0.008	0.343	0	15
山形	35541	大高	0.344	0.073	-3	15	和	65256	山	0.010	0.425	0	15
新潟	54421	高津	0.407	0.056	-3	15	和	65276	山	0.015	-0.049	0	15
新潟	54566	湯入	0.209	0.069	-3	15	和	65306	山	0.005	0.674	0	15
新潟	33006	種入	0.323	0.059	-3	15	和	65356	山	0.016	0.031	0	15
新潟	33026	軽米	0.293	0.061	-3	15	岡	66091	山	0.031	0.122	-3	15
新潟	33136	山形	0.283	0.068	-5	15	岡	66136	山	0.015	0.102	0	15
新潟	33186	山形	0.313	0.066	-5	15	岡	66221	山	0.027	-0.009	-3	15
新潟	33206	山形	0.446	0.050	-3	15	岡	66296	山	0.019	0.066	0	15
新潟	33326	山形	0.185	0.054	-3	15	岡	66306	山	0.025	0.001	0	15
新潟	33371	山形	0.193	0.069	-10	15	岡	67016	山	0.061	-0.564	-3	15
新潟	33526	山形	0.346	0.047	-3	15	岡	67116	山	0.030	-0.048	-3	15
新潟	33616	山形	0.300	0.039	-3	15	岡	67151	山	0.039	-0.251	-3	15
新潟	34012	山形	0.336	0.079	-5	15	岡	67191	山	0.024	0.112	-3	15
新潟	34186	山形	0.407	0.025	-3	15	岡	67292	山	0.021	0.096	0	15
新潟	34311	山形	0.327	0.059	-3	15	岡	67326	山	0.026	-0.361	0	15
新潟	34331	山形	0.270	0.036	-3	15	岡	67496	山	0.021	-0.539	0	15
新潟	36056	山形	0.398	0.063	-3	15	岡	68091	山	0.024	-0.127	0	15
新潟	36196	山形	0.259	0.071	-10	15	岡	68261	山	0.027	0.086	-3	15
新潟	36341	山形	0.465	0.071	-3	15	岡	68306	山	0.053	-0.394	-3	15
新潟	36501	山形	0.438	0.028	-3	15	岡	68351	山	0.021	0.229	0	15
新潟	36562	山形	0.307	0.059	-3	15	岡	68431	山	0.032	-0.001	-3	15
新潟	36591	山形	0.204	0.030	-3	15	岡	68516	山	0.017	0.155	0	15
新潟	36676	山形	0.246	0.032	-3	15	岡	68546	山	0.025	0.084	0	15
新潟	36716	山形	0.343	0.076	-5	15	岡	69246	山	0.025	0.015	0	15
茨城	40046	北茨	0.200	0.035	-3	15	岡	71087	山	0.020	0.132	0	15
茨城	40061	北茨	0.230	0.034	-3	15	岡	71191	山	0.017	0.399	-3	15
茨城	41116	北茨	0.418	0.066	-5	15	岡	71251	山	0.004	0.618	0	15
茨城	41166	北茨	0.401	0.057	-10	15	岡	72161	山	0.020	0.072	0	15
茨城	43171	北茨	0.307	0.029	0	15	香	74071	山	0.010	0.418	0	15
茨城	42046	北茨	0.357	0.083	-5	15	高	74296	山	0.014	0.375	0	15
群馬	42121	藤原	0.308	0.062	-5	15	高	81011	山	0.022	0.078	0	15
群馬	42221	藤原	0.212	0.073	-5	15	山	81196	山	0.047	-0.228	0	15
群馬	42326	藤原	0.328	0.029	-3	15	山	81231	山	0.016	0.290	0	15
群馬	42396	藤原	0.338	0.022	-3	15	山	81386	山	0.016	-0.066	0	15
群馬	48196	藤原	0.258	0.045	-3	15	福	82206	山	0.015	0.107	0	15
群馬	48321	藤原	0.334	0.052	-3	15	福	83341	山	0.019	0.044	0	15
群馬	48331	藤原	0.500	0.049	-5	15	福	83431	山	0.011	0.396	0	15
群馬	48466	藤原	0.326	0.073	-5	15	福	84171	山	0.017	-0.052	0	15
群馬	48531	藤原	0.235	0.071	-5	15	福	84519	山	0.017	0.278	-3	15
群馬	48541	藤原	0.341	0.047	-3	15	福	85161	山	0.019	-0.029	0	15
群馬	48546	藤原	0.283	0.026	-3	15	福	86006	山	0.012	0.277	0	15
群馬	48717	藤原	0.237	0.025	-3	15	福	86066	山	0.010	0.283	-3	15
群馬	48826	藤原	0.235	0.026	-3	15	福	86216	山	0.013	0.103	0	15
群馬	48841	藤原	0.268	0.018	-3	15	福	86271	山	0.021	-0.262	0	15
群馬	49196	藤原	0.374	0.035	-3	15	福	86316	山	0.015	0.141	0	15
群馬	49256	藤原	0.362	0.051	-5	15	福	87041	山	0.018	0.283	0	15
群馬	45326	藤原	0.324	0.019	0	15	福	87071	山	0.019	0.283	-3	15
群馬	44172	藤原	0.207	0.019	0	15	福	87181	山	0.016	0.041	0	15
群馬	50386	藤原	0.189	0.012	0	15	福	87206	山	0.012	0.365	0	15
							福	87231	山	0.012	0.514	0	15
							福	87411	山	0.018	-0.282	0	15
							福	88286	山	0.013	0.193	0	15
							福	88666	山	0.015	0.180	0	15
							福	88686	山	0.025	-0.220	0	15
							福	91011	山	0.024	-0.368	0	15
							福	91021	山	0.011	0.384	0	15
							福	91181	山	0.036	-0.294	0	15
							福	94101	山	0.018	-0.108	0	15



上段:地点モデル、中段:異常値を除去した観測値、下段:地域モデル
 図3 NDVI観測値、地点モデル値及び地域モデル値の比較 (1)



上段:地点モデル、中段:異常値を除去した観測値、下段:地域モデル
 図4 NDVI観測値、地点モデル値及び地域モデル値の比較(2)

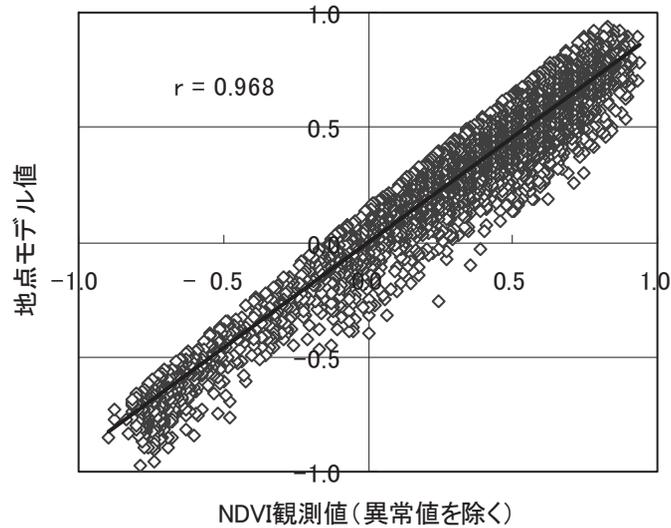
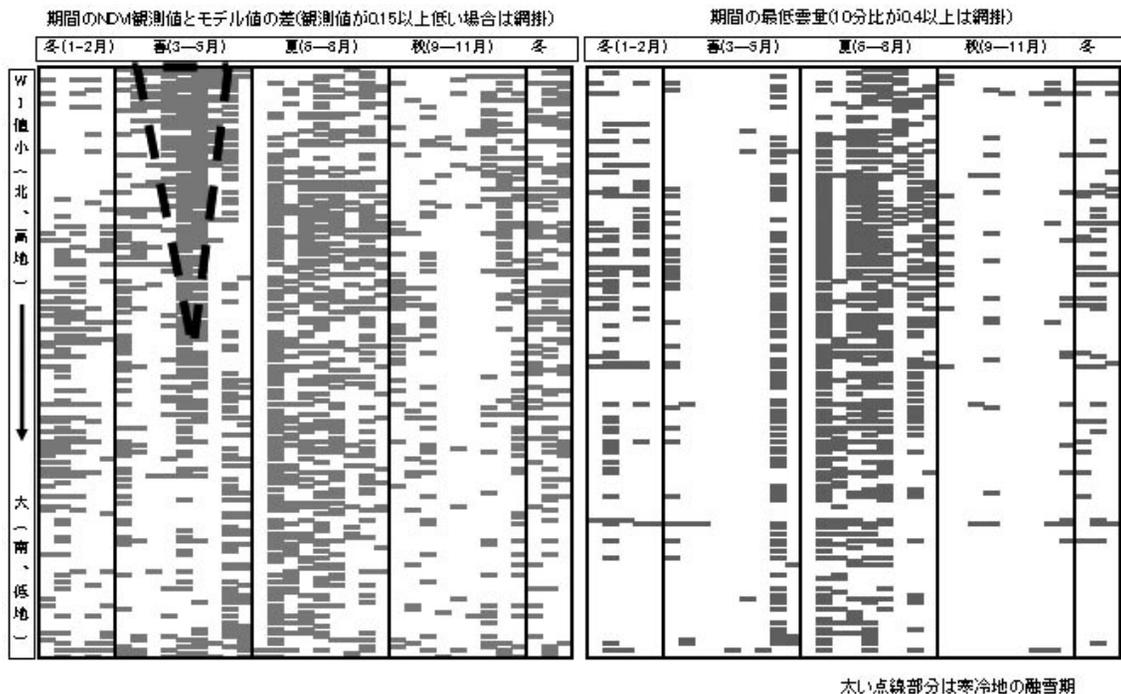


図5 地点モデル値と観測値の相関



太い点線部分は寒冷地の融雪期

図6 NDVI異常値と雲量のパターン図

地ではその期間が長い傾向にあった。これは、AMeDAS局が、地域の気象データを得るための観測点であり、平地である程度開けた地形に位置することもあり、濡れ雪や融雪により地表が水に覆われることなどの影響が大きかったためと考えられた。すなわち、実際の植物が活動を始めていても地表が濡れ雪や水面で覆われている場合、NDVI観測値は低くなってしまふこととなり、地形などにより適切な植物の活動状態を把握できない場合があることが示唆される。今後は大雨直後のデータや濡れ雪が多い本州の積雪地帯のデータなどについてもより詳細な検討が必要と考えられた。

3.4 地域モデルの開発

地域内の他の地点におけるNDVI値を推定するには、①より近い地点の地点モデルを用いる、②地域内の地点モデル要素(a及びb)を平均して推定する、③地点モデル要素を、地点の情報(緯度・経度・標高・気象・植生など)により推定する方法が考えられる。そこで、本法では地点の緯度・経度・標高・平均気温及びWIを地域モデル推定要素とし、地点モデルをベースとした地域モデルの開発を行った。

全国を北海道、東北・新潟、関東・甲信静、近畿・東海・北陸、中四国、九州・沖縄の6つの地域に分け、地点モデ

ルと同様に、入力値を入力気温データとした。

なお、東北地方など中央の山地などがある地域では位置情報をより詳細に表す必要が考えられたため、緯度及び経度のみ二乗値も含めた7要素で重回帰分析を行った。

その結果、表4に示す各要素の係数が得られた。重相関係数は中四国及び九州・沖縄など、南の地域でやや低く、北海道で高かった。以下に地域モデル式を示す。

$$\text{NDVI地域モデル値} = \alpha \times \text{Temp}_{\text{cal}} + \beta$$

$$\alpha = a1 + b1 \times Y + c1 \times Y^2 + d1 \times X + e1 \times X^2 + f1 \times \text{標高 (m)} + g1 \times \text{WI} + h1 \times \text{平均気温 (平年値}^\circ\text{C)}$$

$$\beta = a2 + b2 \times Y + c2 \times Y^2 + d2 \times X + e2 \times X^2 + f2 \times \text{標高 (m)} + g2 \times \text{WI} + h2 \times \text{平均気温 (平年値}^\circ\text{C)}$$

ただし、Y=緯度(度)-20、X=経度(度)-120

ここで、a1～h1及びa2～h2は表4に示すように、地域ごとの重回帰分析で得られる係数である。

3.5 地域モデルの検証

地域モデルで得られたNDVI値と異常値を削除したNDVI観測値の比較を図3及び4に示す。

全地点の差(絶対値)の平均は0.131と地点モデルの場合の約1.5倍であったが、雲や大気状態などによるエラー値(0.1-0.2)などと同程度かやや低かった。差の大きかった地点は、図7及び表5に示すように、温量指数の高い地点、緯度の低い地点、標高の低い地点でみられた。地域モデルの重回帰分析では図8に示すように相関係数は0.923を示し、地点モデル(r=0.968)よりやや相関係数は低いが、かなり高い値を示し、樹種の特特定など詳細な情報を必要とする場合や今回の対象地点には含まれなかった離島などの地域、また標高の高い地域などを除けば、これら地域モデルにより、高い精度でNDVIを推定できることが認められた。

4 結論

2003年SPOT4/VEGETATIONのNDVI観測値(10日間最大値)及び森林地域に分類される2003年AMeDAS局173地点の気温データ、緯度・経度・標高・平均気温及び温量指数によって森林地域におけるNDVIを推定するモデルを開発した。

モデルの入力値としては、NDVI観測値に対応する10日間の平均気温で、最も相関が高かった10日間から前日までの平均気温を用いた。このことから、モデル入力値として各月の旬別統計値(タイムラグは1旬前)における平均気温が使用可能と考えられた。また、地点毎のモデル作成においては植生の影響を考慮し、温量指数による5区分毎に分け、モデルは入力値である平均気温の範囲を低温及び高温限界温度により範囲を限定し、その間は最小二乗法により直線近似を行う方法で作成した。

さらに、全国を5地域に区分し、緯度、経度、標高、平均気温及び温量指数の5要素からなる地域モデルの開発を行った。このモデルにより推定されたNDVI値は観測値と相関係数0.923という高い相関を示し、全地点の差の平均は0.131であった。

なお、本研究成果は雲などの影響を受けたNDVIの推定、補正に用いることができ、さらに気温と地点情報などにより全国の任意の地点、任意の日付におけるNDVIが推定可能であり、森林による二酸化炭素の吸収量や大気汚染物質の沈着量(沈着速度)の評価にも有効利用が可能と考えられた¹⁷⁾。また、位置情報の他は気温のみで推定できるため、温暖化によるNDVIの変化(植生変化)の予測などにも応用できることが考えられた。

5 おわりに

NDVIに代表されるように衛星画像から得られる情報の利用は益々増えてきており、その範囲も拡大している。またこれらの情報自体も、日進月歩の技術開発による精度の改善、チャンネル数の増加など、増加しつつある。

衛星画像情報としては、解像度が高く、より広域のデータを頻度高く、同時に入手でき、センサーの種類や感度が高い情報が望まれるが、解像度と地上走査幅は衛星の高度に依存し、前者は低いほど、後者は高いほど良い傾向にあるなど、矛盾する場合がある。そのため、衛星画像の解析では、①空間分解能②センサーの種類・観測波長帯③回帰日数④ポインティングの機能④合成開口レーダーの周波数・オフナディア角などの情報基盤の特徴、さらには⑤センサーの稼動年数と情報の安定性についても考慮し、目的に応じ、適切な衛星(LANDSAT、SPOT、MOS-1、NOAA-AVHRR、MODIS、ASTER、ADEOSなど)の画像情報を入手することとなる。この時、入手にかかる時間や費用も極めて重要な制限因子である。この点で、1Kmメッシュのデータが無料で入手できることの利点は大きく、本研究で用いたSPOT4/VEGETATIONのデータは現在最も利用されている衛星画像情報の一つである。今後の課題としては、森林地域のNDVI推定精度をより高めると共に、農地、水田、草地など他の土地利用形態におけるモデルの開発を行い、メッシュ内の土地利用に応じたNDVIへの寄与の算出についても検討したい。また、より多くのデータによる解析や、融雪、大雨などによる地表面の変化などによる影響を検討し、将来的には東アジアを対象に、降水量や日射量の要素を含んだより広域に対応するモデルへの改良を行いたいと考えている。

なお、本研究は、北海道環境科学研究センター内におけるリモートセンシング研究会の活動成果の一部である。

表4 地域モデル作成のための多重回帰分析結果

	地域	重相関係数	切片	Y座標	Y座標 ²	X座標	X座標 ²	標高	WI	平均気温
			a1	b1	c1	d1	e1	f1	g1	h1
傾き	北海道	0.923	-4.029	0.3441	-0.0072	0.0080	-0.0003	-0.0000370	-0.00114	0.00822
	東北新潟	0.867	0.211	0.1637	-0.0042	-0.1404	0.0029	-0.0000071	-0.00206	0.00652
	関東甲信静	0.891	0.897	-0.1222	0.0040	0.0149	-0.0003	-0.0000119	0.00281	-0.03014
	近畿東海北陸	0.915	1.174	-0.2011	0.0070	0.0597	-0.0020	-0.0000463	0.00346	-0.03857
	中四国	0.782	0.364	-0.0117	0.0009	-0.0490	0.0016	0.0000500	0.00334	-0.02702
	九州沖縄	0.540	-0.019	-0.0026	0.0002	0.0067	-0.0004	0.0000057	0.00029	-0.00163
切片			a2	b2	c2	d2	e2	f2	g2	h2
	北海道	0.892	7.143	-1.4684	0.0308	0.8917	-0.0187	0.0003806	-0.00245	-0.06655
	東北新潟	0.882	2.431	-1.1923	0.0306	0.4448	-0.0038	0.0006333	0.00500	0.06115
	関東甲信静	0.826	-3.560	0.6396	-0.0272	0.0370	-0.0013	-0.0001667	-0.02530	0.20844
	近畿東海北陸	0.873	4.674	1.6285	-0.0648	-2.2746	0.0766	0.0010466	-0.07332	0.74171
	中四国	0.755	-2.012	0.6737	-0.0346	-0.1594	0.0118	-0.0008523	-0.12915	1.01175
九州沖縄	0.750	1.586	-0.2073	0.0035	-0.0317	0.0047	0.0001161	-0.04630	0.40046	
各要素の平均	北海道	n=20		23.1	535.6	22.4	504.4	179.6	53.0	5.8
	東北新潟	n=36		18.9	358.1	20.6	426.8	315.5	74.8	9.4
	関東甲信静	n=25		16.0	257.6	18.7	350.1	661.9	83.5	10.5
	近畿東海北陸	n=37		15.2	231.4	16.2	262.0	289.5	103.6	12.9
	中四国	n=30		14.6	212.7	13.0	169.2	248.6	103.8	13.1
	九州沖縄	n=24		11.4	136.2	10.2	106.9	193.6	137.6	16.4

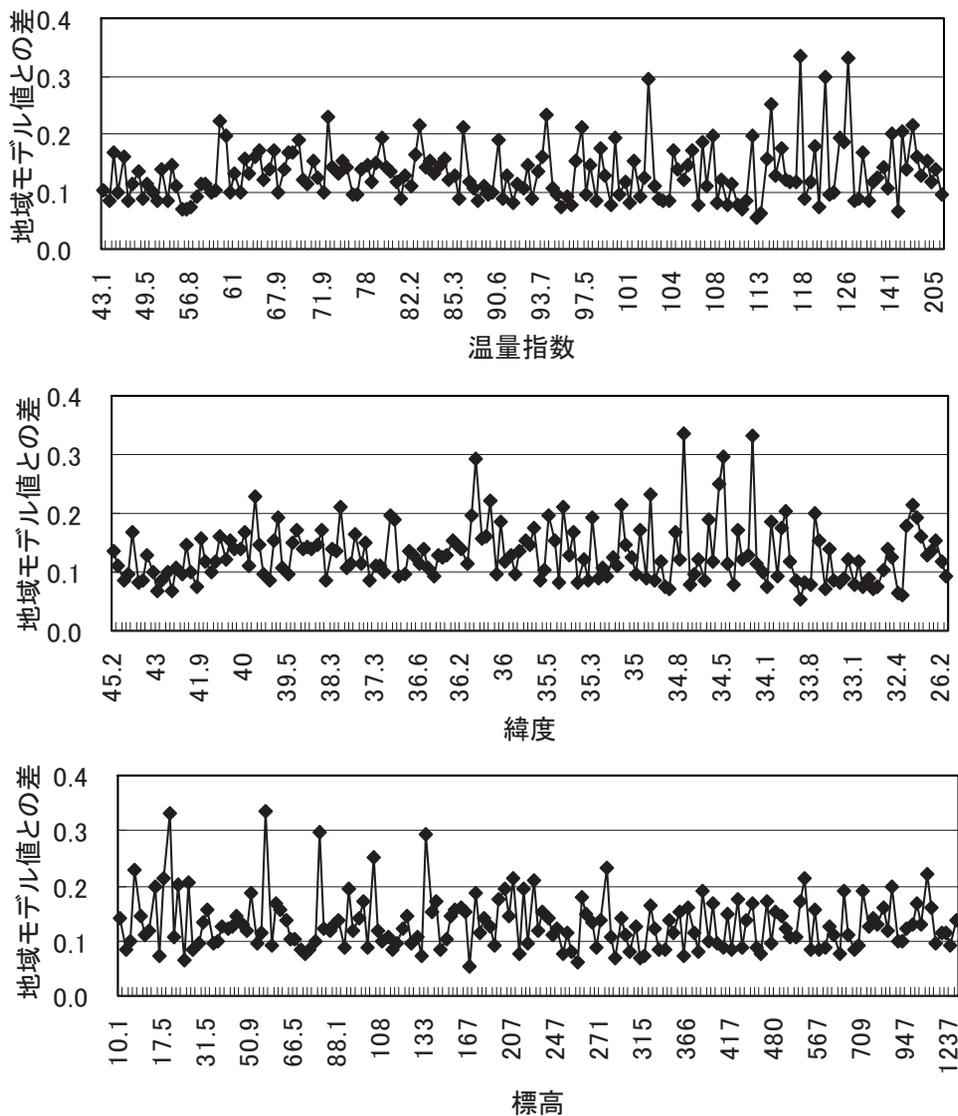


図7 観測値と地域モデル値の差（絶対値）の平均値

表5 地域モデル値と観測値の差(絶対値)の統計情報

Prefecture	Station No.	Station Name	Max.	Min.	Mean	Std. deviation	Prefecture	Station No.	Station Name	Max.	Min.	Mean	Std. deviation
北海道	11121	沼川	0.497	0.006	0.135	0.119	愛知	51281	蒲郡	0.311	0.003	0.166	0.102
北海道	12746	占冠	0.384	0.002	0.084	0.080	北海道	52041	河合	0.482	0.002	0.152	0.124
北海道	15041	朱野	0.248	0.000	0.086	0.081	北海道	52081	白根	0.281	0.016	0.145	0.081
北海道	15231	空知	0.266	0.004	0.098	0.072	北海道	52111	尾	0.341	0.001	0.140	0.093
北海道	15442	夕張	0.294	0.001	0.070	0.071	北海道	52181	六	0.709	0.012	0.222	0.141
北海道	16026	美幌	0.441	0.010	0.130	0.105	北海道	52196	宮	0.279	0.002	0.098	0.075
北海道	16286	喜茂	0.245	0.001	0.108	0.071	北海道	52331	八	0.363	0.002	0.147	0.114
北海道	17076	厚別	0.335	0.005	0.112	0.082	北海道	52346	宮	0.297	0.003	0.136	0.099
北海道	18256	厚床	0.342	0.003	0.082	0.080	北海道	52381	樽	0.310	0.011	0.174	0.088
北海道	18311	阿寒	0.385	0.002	0.099	0.088	北海道	52482	三	0.286	0.021	0.105	0.076
北海道	19076	知床	0.511	0.011	0.169	0.134	北海道	53091	重	0.317	0.002	0.117	0.079
北海道	19451	阿知	0.245	0.008	0.101	0.060	北海道	53401	重	0.390	0.048	0.204	0.094
北海道	20186	知床	0.299	0.003	0.085	0.090	北海道	55166	上	0.275	0.018	0.127	0.090
北海道	21161	大平	0.306	0.002	0.097	0.084	北海道	55206	山	0.371	0.006	0.139	0.102
北海道	21171	森野	0.457	0.000	0.146	0.130	北海道	56286	石	0.6286	0.307	0.008	0.126
北海道	22036	日新	0.183	0.002	0.067	0.048	北海道	56301	川	0.465	0.095	0.294	0.140
北海道	22156	新三	0.345	0.021	0.101	0.090	北海道	57001	井	0.448	0.006	0.195	0.101
北海道	22291	南木	0.293	0.001	0.073	0.067	北海道	57206	三	0.407	0.007	0.153	0.114
北海道	23206	茅内	0.415	0.000	0.156	0.128	北海道	60102	山	0.190	0.017	0.084	0.051
北海道	23326	占内	0.280	0.003	0.119	0.073	北海道	60226	信	0.399	0.098	0.233	0.077
青森	31201	蟹田	0.224	0.013	0.100	0.060	東京都	61111	舞	0.269	0.004	0.127	0.079
青森	31366	鯉ケ	0.336	0.005	0.116	0.095	東京都	61206	美	0.349	0.009	0.194	0.112
青森	31482	酸湯	0.454	0.007	0.159	0.112	東京都	61326	京	0.549	0.039	0.336	0.133
青森	32206	湯瀨	0.376	0.005	0.140	0.106	東京都	62081	阪	0.397	0.004	0.189	0.129
秋田	32266	八幡	0.325	0.008	0.111	0.079	東京都	63051	生	0.346	0.003	0.198	0.080
秋田	32311	阿角	0.416	0.001	0.146	0.143	東京都	63076	兵	0.400	0.019	0.211	0.107
秋田	32466	田舎	0.334	0.005	0.155	0.125	東京都	63201	兵	0.320	0.013	0.123	0.080
秋田	32496	田正	0.298	0.019	0.108	0.076	東京都	63251	兵	0.369	0.003	0.146	0.104
秋田	32771	大湯	0.428	0.016	0.151	0.129	東京都	64206	兵	0.320	0.011	0.115	0.076
山形	35116	金折	0.302	0.006	0.141	0.076	和歌山	65061	山	0.315	0.013	0.130	0.090
山形	35216	肘折	0.277	0.015	0.138	0.077	和歌山	65121	山	0.215	0.002	0.075	0.055
山形	35246	鼠ヶ	0.363	0.023	0.147	0.086	和歌山	65162	山	0.295	0.010	0.175	0.090
山形	35361	大井	0.425	0.015	0.172	0.119	和歌山	65201	山	0.233	0.007	0.117	0.063
山形	35541	大高	0.344	0.002	0.134	0.091	和歌山	65256	山	0.186	0.003	0.055	0.045
山形	54421	高津	0.407	0.002	0.106	0.095	和歌山	65276	山	0.338	0.062	0.201	0.065
山形	54566	入種	0.209	0.010	0.115	0.060	和歌山	65306	山	0.363	0.041	0.155	0.067
山形	33006	種入	0.323	0.004	0.121	0.103	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
山形	33026	軽米	0.293	0.012	0.154	0.089	岡山	66091	千	0.546	0.037	0.213	0.142
山形	33136	山形	0.283	0.028	0.140	0.068	岡山	66136	古	0.295	0.000	0.111	0.103
山形	33186	葛巻	0.313	0.002	0.167	0.095	岡山	66221	新	0.222	0.004	0.088	0.074
山形	33206	普代	0.446	0.013	0.230	0.130	岡山	66296	福	0.250	0.005	0.076	0.069
山形	33326	岩泉	0.185	0.020	0.095	0.049	岡山	66306	和	0.324	0.003	0.121	0.093
山形	33371	岩川	0.193	0.008	0.085	0.057	岡山	67016	島	0.357	0.008	0.126	0.102
山形	33526	川井	0.346	0.046	0.194	0.082	岡山	67116	島	0.198	0.000	0.073	0.056
山形	33616	山田	0.300	0.003	0.095	0.080	岡山	67151	島	0.233	0.008	0.098	0.063
山形	34012	山湯	0.336	0.054	0.172	0.086	岡山	67191	島	0.463	0.000	0.121	0.104
山形	34186	志新	0.407	0.002	0.143	0.122	岡山	67292	島	0.496	0.096	0.297	0.103
山形	34311	新川	0.327	0.002	0.138	0.103	岡山	67326	島	0.413	0.088	0.251	0.102
山形	34331	釜庭	0.270	0.001	0.086	0.075	岡山	67496	島	0.443	0.197	0.330	0.071
山形	36056	茂倉	0.398	0.002	0.212	0.119	岡山	68091	島	0.210	0.007	0.082	0.061
山形	36196	鷺倉	0.259	0.011	0.114	0.074	岡山	68261	島	0.288	0.003	0.095	0.081
山形	36341	金川	0.465	0.022	0.163	0.123	岡山	68306	島	0.367	0.001	0.095	0.091
山形	36501	内本	0.438	0.009	0.149	0.102	岡山	68351	島	0.369	0.001	0.172	0.099
山形	36562	湯内	0.307	0.000	0.111	0.094	岡山	68431	島	0.162	0.000	0.080	0.051
山形	36591	小野	0.204	0.004	0.087	0.061	岡山	68516	島	0.401	0.001	0.114	0.095
山形	36676	石川	0.246	0.014	0.111	0.066	岡山	68546	島	0.192	0.004	0.078	0.061
山形	36716	枝岐	0.343	0.006	0.099	0.098	岡山	69246	島	0.159	0.003	0.090	0.043
茨城	40046	北茨	0.200	0.002	0.094	0.060	岡山	71087	島	0.540	0.002	0.186	0.121
茨城	40061	大呂	0.230	0.004	0.095	0.065	岡山	71191	島	0.225	0.004	0.086	0.068
茨城	41116	土部	0.418	0.007	0.198	0.117	岡山	71251	島	0.264	0.003	0.082	0.066
茨城	41166	日光	0.401	0.011	0.137	0.110	岡山	72161	島	0.256	0.001	0.100	0.061
茨城	43171	日山	0.307	0.011	0.187	0.097	岡山	74071	島	0.328	0.001	0.079	0.070
茨城	42046	藤原	0.357	0.015	0.190	0.096	岡山	74296	島	0.198	0.012	0.086	0.051
茨城	42121	草津	0.308	0.001	0.114	0.080	岡山	81011	山	0.290	0.006	0.116	0.081
茨城	42221	田代	0.212	0.004	0.093	0.065	岡山	81196	山	0.367	0.005	0.122	0.112
茨城	42326	西野	0.328	0.005	0.114	0.087	岡山	81231	山	0.519	0.072	0.172	0.085
茨城	42396	万場	0.338	0.011	0.159	0.099	岡山	81386	山	0.259	0.016	0.093	0.063
茨城	48196	信州	0.258	0.009	0.107	0.070	福岡	82206	田	0.311	0.002	0.073	0.068
茨城	48321	東部	0.334	0.009	0.129	0.099	福岡	83341	分	0.267	0.010	0.117	0.083
茨城	48331	軽部	0.500	0.006	0.130	0.126	福岡	83431	大	0.432	0.004	0.076	0.082
茨城	48466	奈川	0.326	0.001	0.160	0.087	福岡	84171	長	0.262	0.002	0.082	0.067
茨城	48531	開田	0.235	0.025	0.097	0.062	福岡	84519	崎	0.192	0.007	0.090	0.061
茨城	48541	辰野	0.341	0.007	0.117	0.095	福岡	85161	崎	0.204	0.003	0.089	0.056
茨城	48546	辰野	0.283	0.010	0.127	0.078	福岡	86006	崎	0.319	0.014	0.121	0.069
茨城	48717	南木	0.237	0.005	0.085	0.058	福岡	86066	崎	0.344	0.001	0.078	0.069
茨城	48826	浪合	0.235	0.024	0.122	0.071	福岡	86216	崎	0.309	0.005	0.104	0.058
茨城	48841	南信	0.268	0.005	0.084	0.071	福岡	86271	崎	0.330	0.006	0.140	0.107
茨城	49196	上九	0.374	0.004	0.154	0.108	福岡	86316	崎	0.262	0.000	0.125	0.068
茨城	49256	山色	0.362	0.018	0.169	0.108	福岡	87041	崎	0.175	0.004	0.071	0.045
茨城	45326	山坂	0.324	0.011	0.107	0.083	福岡	87071	崎	0.268	0.017	0.075	0.059
茨城	44172	大天	0.207	0.000	0.087	0.063	福岡	87181	崎	0.228	0.000	0.066	0.057
茨城	50386	天童	0.189	0.003	0.084	0.050	福岡	87206	崎	0.249	0.004	0.062	0.050
宮城							福岡	87231	崎	0.370	0.028	0.178	0.080
宮城							福岡	87411	崎	0.382	0.004	0.214	0.099
宮城							福岡	88286	崎	0.324	0.094	0.192	0.057
宮城							福岡	88666	崎	0.367	0.017	0.160	0.096
宮城							福岡	88686	崎	0.269	0.027	0.129	0.070
宮城							福岡	91011	崎	0.266	0.005	0.137	0.079
宮城							福岡	91021	崎	0.388	0.002	0.152	0.099
宮城							福岡	91181	崎	0.289	0.015	0.118	0.081
宮城							福岡	94101	崎	0.228	0.008	0.093	0.054

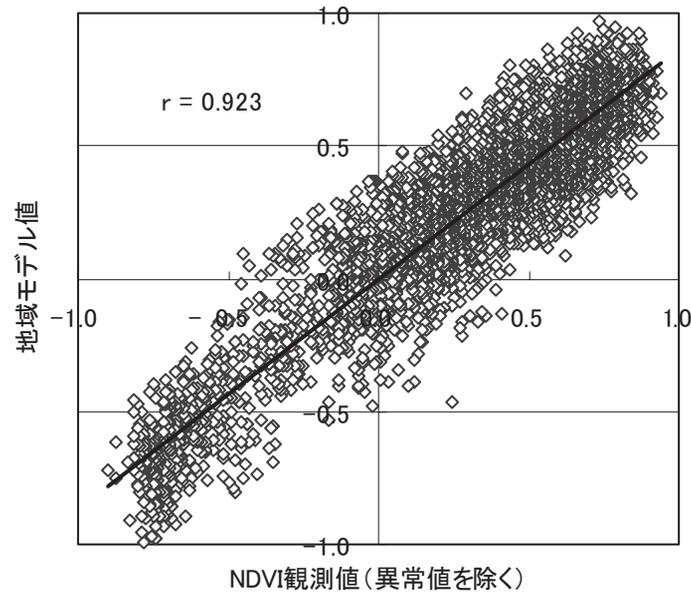


図8 地域モデル値と観測値の相関

謝 辞

本モデルの開発に際し、膨大なデータ処理に協力していただいた本研究所のスタッフに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土地理院：http://www1.gsi.go.jp/geowww/EODAS/EODAS_j.html.
- 2) 浦井 稔：「AVHRR NDVIを用いた黄河流域の植生解析」、A32、第35回学術講演会論文集、2003.
- 3) X.SONG, G.SAITO, M.KODAMA and H.SAWADA Early Detection System of Drought in East Asia Using NDVI from NOAA/AVHRR Data, pp59-69, 2001.
- 4) Buhe Aosier, LIU Jiyuan, C. N. Ng：「Study on land-use/cover change in China using remote sensing data」、ACTA GEOGRAPHICA SINICA, Vol. 53, Supplement, Dec. 1998, P. 52-60, 1998.
- 5) 布和敖斯尔 樋口広芳 梅木賢俊 金子正美 田村正行：「モンスーンアジアを 旅する鳥たちの跡ーコウノトリの衛星追跡ー」、北海道環境科学研究センター所報、29、pp. 59-66、2002.
- 6) B. N. Holben：「Characteristic of maximum-value composite images from temporal AVHRR data」、International Journal of Remote Sensing、7、pp1417-1434、1986.
- 7) N. Viovy, O. Arino and A. S. Belward：「The Best Index Slope Extraction (BISE): A method for reducing noise in NDVI time-series」、International Journal of Remote Sensing、13、pp1585 - 1590、1992.
- 8) 石原光則、田村正行：「日本における気象条件を用いたNDVIの推定」、日本リモートセンシング学会誌、24 (3)、255-266、2004
- 9) Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek：<http://free.vgt.vito.be/>.
- 10) 国土地理院：<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>.
- 11) 吉良龍夫：林業解説シリーズ17、日本の森林帯、日本林業技術協会、1949
- 12) 環境庁：第3回自然環境保全基礎調査 総合解析報告書、1989.
- 13) 環境省：新・生物多様性国家戦略、http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kankyokettei/020327tayosei_f.html.
- 14) 泉岳樹、北村彩子、菅沼夢子、松山洋：「ノイズのある時系列NDVIデータからのシグナルの抽出ー阿蘇山周辺の事例ー」、www.amy.hi-ho.ne.jp/izumi/2002s_tiri_izumi.PDF.
- 15) ISLSCP Documents：<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~agata/archive/ISLSCP/NDVI.DOC.html>.
- 16) NASA：<http://modis.gsfc.nasa.gov/MODIS/LAND/REPORTS/huete.1993.4.pdf>.
- 17) 野口 泉、松田和秀：「乾性沈着量推計ファイルの開発」、北海道環境科学研究センター所報、30、pp. 23-28、2003.

Developing NDVI Estimation Model of Forest Area in Japan, using Temperature data

Izumi Noguchi, Buhe Aosier, Masayuki Takada,
Kazuhiro Hamahara, Hideaki Takahashi,
Katsumi Tamada

Abstract

In this study, estimation model of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) using temperature and location data was developed. Data sets for analysis were the NDVI images in 2003 from SPOT4/VEGETATION (Maximum NDVI values in 10-days synthesis), and temperature data from AMeDAS 173 stations, located forest area in 2003.

Ten days averages of temperature (before 10days time-lag) were selected from the ten days moving averages of temperature as input data of models by statistics analysis. Unusual lower NDVI values were excluded as outlier values for the effects of cloud jamming. Furthermore, site

and area models were developed considering vegetation in each five class divided by the warm index (WI). It was considered that there were the lower and higher limited NDVI values because NDVI values shows stable values in summer and winter seasons. Thus, models were used a linear-regressions model between lower and higher limited temperature values. The calculated limited temperature value was used when input-data was lower and higher than the limited temperature values in each warm index class.

As per the results, it was found the good correlation with the site model results and the observation values of NDVI ($r= 0.968$, mean difference between model results and observation values: 0.087). Furthermore, the 6 area models in all Japan were developed based on the site models using following factor; latitude, longitude, altitude, mean temperature and WI. Finally, it was found that the rather good correlation coefficient and mean difference between the area model results and observation values was 0.923 and 0.131, respectively.