

熊本の熱環境に関する教材開発

飯野直子^{*1}・小田真莉絵^{*1#}・山中美季^{*1##}・金柿主税^{*2}

Development of Teaching Material on the Thermal Environment of Kumamoto

Naoko IINO^{*1}, Marie ODA^{*1#}, Miki YAMANAKA^{*1##} and Chikara KANAGAKI^{*2}

(Received October 1, 2013)

The purpose of this study is to investigate the thermal environment in Kumamoto and to develop the teaching materials on the urban heat island for science and environmental educations. Here, we discussed the long-range trend of annual mean temperatures at four meteorological stations in Kumamoto Prefecture by using continuous measurement of air temperature observed by the Japan Meteorological Agency since 1891, first. Next, the distributions of vegetation, surface temperature, and land cover in Kumamoto City in 1988, 1998, and 2010 were analyzed by using satellite remote sensing data. As the result, it was identified by the analysis of long-term air temperature data that the characteristics of urban climate were notable in Kumamoto City, and the impact of land development on the thermal environment were demonstrated by the satellite images clearly. Finally, we showed two types of teaching material on the thermal environment in Kumamoto.

Key words : Grobal warming, Urban heat island, air temperature, earth observation satellite, Landsat/TM, Terra/ASTER

1. はじめに

平成 20 年に告示された学習指導要領理科では、理科を学ぶことの意義や有用性を実感する機会をもたせる観点から、実社会・実生活との関連を重視する内容の充実が図られている。また、環境教育の充実をはかる方向で内容が見直されており、例えば、中学校理科では第 1 分野と第 2 分野に共通の最終項目「自然環境の保全と科学技術の利用」が新設されたり、熱の伝わり方やエネルギー変換効率、放射線に関する内容や地球温暖化、外来種などが新規項目として追加されたりしている^[1]。

これまで、地球温暖化は地球環境問題のひとつとして環境教育において多く取り扱われてきた。また、大都市のヒートアイランド現象や熱帯雨林の伐採などが高等学校理科教科書に掲載されていたりした^[2]。本研究では、子どもたちにとって身近な地域（ここでは熊本）の気候や熱環境の特徴、およびその時間的変化について気温や地球観測衛星データを用いて明らかにし、その結果を基に熱環境学習教材を作成することを目的とする。

2. 気温データにみる熊本の気候

2.1 使用データと解析方法

熊本県では地域特性や気象特性を考慮して、県内を 4 つの予報区分（「熊本地方」「阿蘇地方」「天草・芦北地方」「球磨地方」）に細分（一次細分区分）しており、熊本地方気象台や特別地域気象観測所において気象観測が行われている。これら 4 地域内の熊本地方気象台（図 1 の K）、阿蘇山特別地域観測所（図 1 の A）、人吉特別地域観測所（図 1 の H）、牛深特別地域観測所（図 1 の U）における年平均気温（日最高平均気温・日平均気温・日最低平均気温）および冬日（日最低気温が 0℃未満の日）、真冬日（日最高気温が 0℃未満の日）、夏日（日最高気温が 25℃以上の日）、真夏日（日最高気温が 30℃以上の日）、猛暑日（日最高気温が 35℃以上の日）、熱帯夜（日最低気温が 25℃未満の日）の出現日数の経年変化を調べた。なお、熱帯夜の定義は「夜間の最低気温が 25℃以上の日」であるが、熱帯夜の統計には日最低気温（0 時～24 時の最低値）が便宜的に使われることが多い。

気象庁による気候変動やヒートアイランド監視レ

*1 熊本大学教育学部理科教育 # 平成 21 年度卒業 ## 平成 23 年度修了

*2 熊本支援学校



図1 気象データの解析地点

ポートでは、できるだけ長い統計期間を有する地点や主要都市が選出されている。本研究では、児童生徒にとってより身近な地域素材・教材を提供するために、教育事務所の位置を考慮して、9地点の地域気象観測所（アメダス観測所）のデータについても調べた。選出したアメダス観測所は、図1の(a)鹿北、(b)岱明、(c)菊池、(d)阿蘇乙姫、(e)三角、(f)甲佐、(g)本渡、(h)八代、(i)水俣である。以上13地点の気候変動を調べるために、文献^[3]や熊本地方気象台に保管されている累年原簿、気象庁ホームページ^[4]

に掲載されている2012年までのデータや統計値を使用した。各観測所の開始年は以下のとおりである。A：1891年、B：1933年、C：1943年、D：1950年、(d)：1979年、その他のアメダス観測所：1978年。

2.2 結果と考察

熊本地方気象台（熊本市）における年平均日最高気温（日最高）、年平均日平均気温（日平均）、年平均日最低気温（日最低）の経年変化を図2に示す。図2(a)は1906～2005年の過去100年間について示している。最小二乗法による線形回帰より長期変化傾向をみると、100年あたりの上昇は日最高気温が $+0.9^{\circ}\text{C}$ 、日平均気温が $+1.9^{\circ}\text{C}$ 、日最低気温が $+3.0^{\circ}\text{C}$ であり、いずれの年平均気温も有意水準1%で統計的に有意に上昇している。特に日最低気温の昇温傾向が顕著であることがわかる。同じ期間の地球上の年平均気温の上昇率は100年あたり 0.74°C （信頼区間： $0.56 \sim 0.92^{\circ}\text{C}$ ）である^[5]。また、気象庁が日本の気温の変化傾向をみるために、都市化の影響が比較的少なく、長期間の観測が行われている17観測地点の1898～2012年の年平均気温の偏差（1981～2010年平均からの差）を用いて解析した結果では、100年あたり 1.15°C の昇温が示されている^[6]。同じ期間の熊本市の年平均気温の偏差を用いると、熊本市の年平均気温の上昇は100年あたり 1.79°C であり（ただし、観測所移転による影響を取り除く補正なし）、いずれにしても熊本市の年平均気温の上昇率の方が大きい。また、1891～2012年の122年間の年平均気温について、1891～

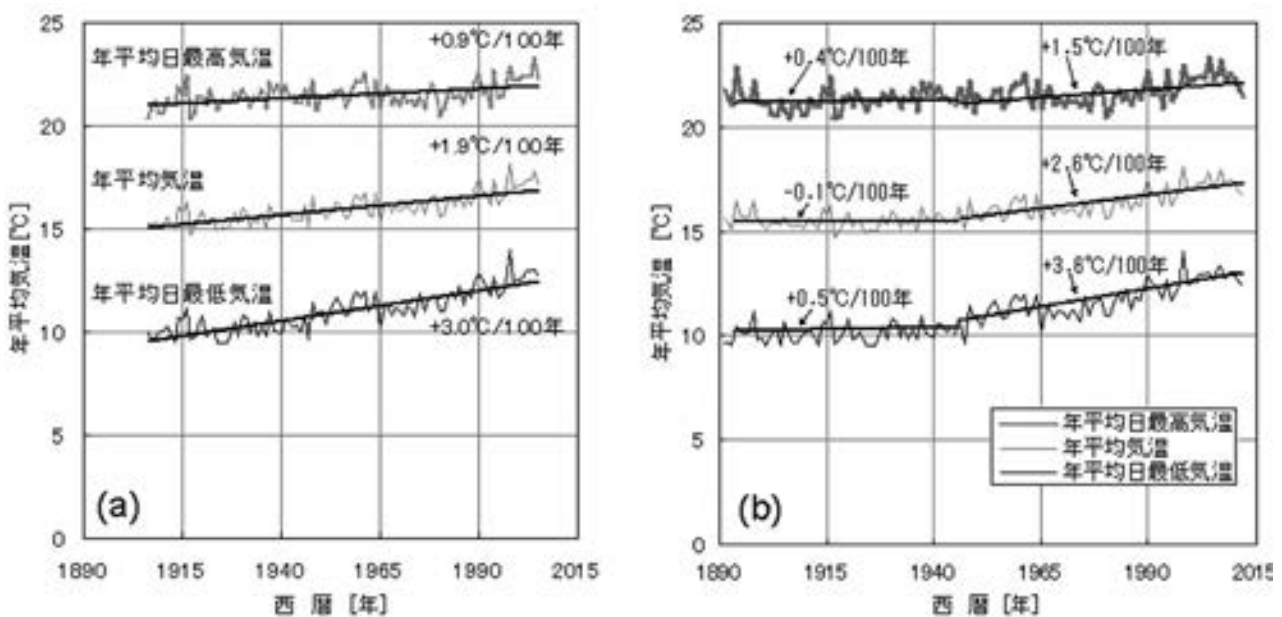


図2 熊本の年平均日最高・日平均・日最低気温の経年変化 (a) 1906～2005年 (b) 1891～2012年

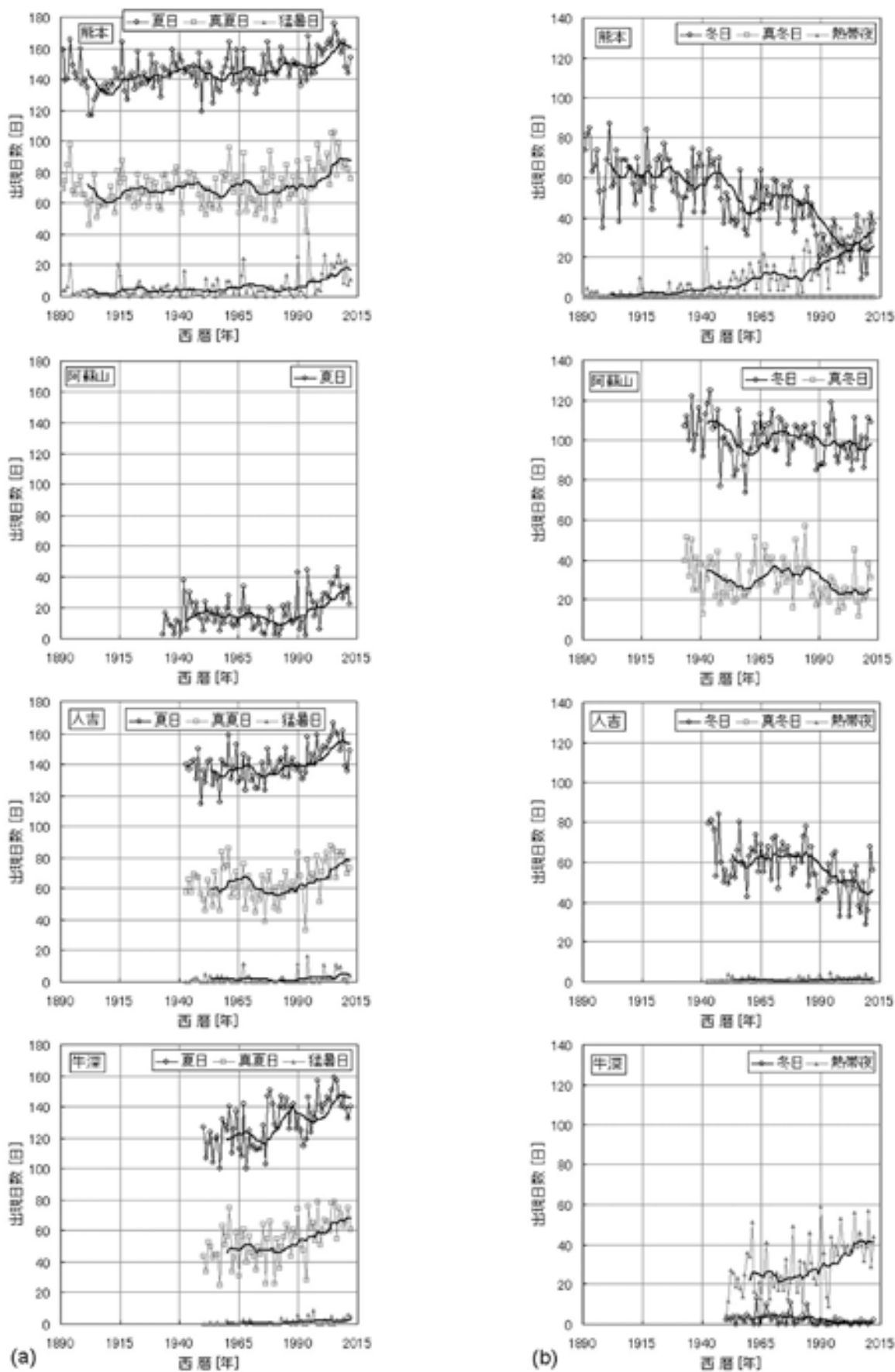


図3 熊本・阿蘇山・人吉・牛深における (a) 夏日・真夏日・猛暑日, (b) 冬日・真冬日・熱帯夜の日数の経年変化
 細線：年々の値, 太線：11年移動平均

表1 2012年の階級別日数および階級別日数の長期変化傾向

		真冬日 TH < 0°C	冬日 TL < 0°C	夏日 TH ≥ 25°C	熱帯夜 TL ≥ 25°C	真夏日 TH ≥ 30°C	猛暑日 TH ≥ 35°C	期間		
地方気象台・特別地域気象観測所	熊本	出現数 [日]	0	37	154	35	76	11	2012	
		変化傾向 [日/10年]		-4.77	+2.96	+4.45	+2.99	+2.08	1945-2012	
	阿蘇山	出現数 [日]	31	109	22	0	0	0	2012	
		変化傾向 [日/10年]	-0.94	+0.01	+2.44				1945-2012	
	人吉	出現数 [日]	0	56	149	0	73	4	2012	
		変化傾向 [日/10年]		-2.80	+2.84	+0.12	+2.30	+0.47	1945-2012	
	牛深	出現数 [日]	0	2	140	44	61	5	2012	
		変化傾向 [日/10年]		-0.53	+5.12	+3.95	+4.05	+0.52	1950-2012	
	地域気象観測所	鹿北	出現数 [日]	0	80	143	2	63	4	2012
			変化傾向 [日/10年]		-2.85	+5.45	+0.56	+7.10	+0.83	1978-2012
		岱明	出現数 [日]	0	41	148	32	70	16	2012
			変化傾向 [日/10年]		-5.20	+8.98	+8.03	+10.8	+4.79	1978-2012
菊池		出現数 [日]	0	71	148	9	70	6	2012	
		変化傾向 [日/10年]		-3.01	+7.68	+2.03	+9.59	+1.82	1978-2012	
阿蘇乙姫		出現数 [日]	4	93	87	0	22	0	2012	
		変化傾向 [日/10年]	-1.65	+2.04	+11.1		+9.14		1979-2012	
三角		出現数 [日]	0	7	128	22	62	9	2012	
		変化傾向 [日/10年]		-0.67	+5.78	+4.53	+7.73	+2.54	1978-2012	
甲佐		出現数 [日]	0	48	148	0	71	6	2012	
		変化傾向 [日/10年]		-0.04	+5.37	+0.05	+7.34	+1.57	1978-2012	
本渡	出現数 [日]	0	28	135	9	60	3	2012		
	変化傾向 [日/10年]		+0.09	+6.97	+2.01	+9.20	+1.75	1978-2012		
八代	出現数 [日]	0	20	147	17	67	8	2012		
	変化傾向 [日/10年]		+0.17	+7.73	+3.12	+10.3	+1.82	1978-2012		
水俣	出現数 [日]	0	24	134	9	62	3	2012		
	変化傾向 [日/10年]		-0.66	+4.26	+2.17	+7.44	+0.59	1978-2012		

・項目欄の TH：日最高気温，TL：日最低気温。

・変化傾向の欄の数字が太文字：有意水準1%で有意，細文字：有意水準5%で有意，斜文字+アンダーライン：有意な変化傾向がみられないことを示す。

・斜線は統計期間内の出現数が0日あるいは数日であったことを示す。

1944年と1945～2012年に分けて長期変化傾向をみると、1944年までは変化傾向がみられないのに対して、1945年以降は、100年あたり日最高気温が+1.5℃、日平均気温が+2.6℃、日最低気温が+3.6℃の統計的に有意な上昇がみられる（有意水準1%）。日最低気温の上昇率は日最高気温の上昇率の2.4倍となっている。これらのことから、熊本市は地球温暖化による昇温や自然変動の影響に加えて、都市化の影響を受けていると考えられる。

図3に熊本・阿蘇山・人吉・牛深における階級別日数の経年変化を示す。(a)夏日・真夏日・猛暑日、(b)冬日・真冬日・熱帯夜の日数、細線は年々の値、太線は11年移動平均である。なお、阿蘇山における熱帯夜、真夏日、猛暑日は80年間ですべて0日、牛深における真冬日は63年間で0日であった。それぞれのグラフから、各観測所における全観測期間の長期変化傾向を概観すると、阿蘇山の冬日と出現数自体が少ない人吉の熱帯夜については変化傾向がみられないが、それ以外の項目については、夏日、真夏日、猛暑日、熱帯夜は増加傾向、冬日、真冬日は減少傾向がみられる。11年移動平均をみると、1990年以降の増加／減少傾向が大きくなっていることや熊本、阿蘇山、人吉の冬日と真冬日の出現数は、1965年から1990年は概ね一定していること、牛深の夏日は周期的な変動をしながら昇温していることがわかる。

本研究で選出した13地点における階級別日数の1945年以降の長期変化傾向と2012年の出現数を表1に示す。それぞれの観測所の観測開始が異なるため、統計期間が異なっている。地方気象台・特別地域気象観測所のうち牛深は63年間、それ以外は68年間、アメダス観測所は阿蘇乙姫が34年、それ以外は35年間の統計期間である。地方気象台・特別地域気象観測所については、参考のためにアメダス観測所と同じ統計期間35年間の変化傾向も示した。統計期間内の出現数が0日あるいは数日の項目については省略した（表1の斜線の欄）。それぞれの有意水準は表1に示した通りであるが、以下では有意水準が1%と5%を区別せずに有意な増加／減少と表現する。夏日、真夏日、猛暑日については、統計期間35年の場合の牛深の夏日を除いて、すべての観測所で有意に増加している。熱帯夜については、もともと出現数が少ない人吉、鹿北、甲佐では変化傾向がみられないが、その他の観測所では有意に増加している。一方、真冬日と冬日については、阿蘇乙姫の真冬日、熊本、人吉、牛深（統計期間63年間のみ）、岱明の冬日は有意な減少がみられるが、その他の観測所では変化傾向がみられない。変化傾向がみられなかった観測所のうち、変化率が小さい地域では実際に冬日があまり減少していない可能

性が考えられる。一方、変化率が数日／10年程度ある鹿北、菊池、阿蘇乙姫は、冬日の増加／減少量に比べて年々の変動幅が大きいために統計的に有意といえなかった可能性が考えられる。今後データが追加されていくことによって変化傾向が明らかになると思われる。各項目の2012年の最多と最少の出現数をみると（標高1142.3mに位置する阿蘇山と出現数0日の観測所は除く）、夏日と真夏日については1.77倍と3.45倍の差であるのに対して、熱帯夜と冬日は22.0倍と46.5倍であり差が大きい。地域による気候の違いや温暖化・都市化による影響は最低気温に基づく項目によく現れていると考えられる。なお、選出した9地点のアメダス観測所の1978～2008年の年平均気温および階級別日数の経年変化のグラフはホームページ^[7]に公開している。

3. 衛星データにみる熊本の熱環境

3.1 使用データと解析方法

使用した地球観測衛星データは、1988年4月15日と1998年4月4日のLANDSAT-5/TMデータおよび2010年4月29日のTERRA/ASTERデータである。TMセンサの観測幅は185km、空間分解能は熱赤外域（10.42-12.50μm）のTM-6のみ120mであり、それ以外は30mである。可視域（0.45-0.69μm）に3バンド（TM-1～3）、近赤外域（0.76-0.90μm）に1バンド（TM-4）、短波長赤外域（1.55-2.35μm）に2バンド（TM-5, 7）有している。ASTERセンサの観測幅は60km、空間分解能は可視・近赤外域（0.52-0.86μm）の3バンド（ASTER-1, 2, 3N）が15m、短波長赤外（1.60-2.43μm）の6バンド（ASTER-4～9）が30m、熱赤外域（8.125-11.65μm）の5バンド（ASTER-10～14）が90mである。レベル1Bプロダクトを使用した。

解析領域を図4に示す。バンド結合や画面上方を北に一致させるための回転処理などの前処理を行ったのち、熊本市を含む領域（図4太線枠内）を切り出して使用した。熊本の熱環境を調べるために、それぞれの年の植生指数画像、土地被覆分類画像、温度分布画像を作成した。

植生指数画像とは、植物が可視光をよく吸収するのに対して近赤外域をよく反射する性質にもとづいて考案された、植物の量や活性度を調査するのに適した画像である。規格化することで地形の起伏による陰の影響や大気の影響を軽減することができる。正規化植生指数（NDVI）は以下の式（1）で計算される。

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \dots (1)$$

ここで、VIS と NIR にはそれぞれ可視域 (TM-3, ASTER-2) と近赤外域 (TM-4, ASTER-3N) のバンドの DN 値を割り当てる。

NDVI は -1 ~ 1 の値をもつ。256 階調の白黒濃淡で表されたグレースケール画像では、NDVI 値が大きいと白く表示される。これは植物の量が多く、活性度が高いことを意味している。一方、裸地や水面の NDVI 値は小さいため黒く表示される。NDVI 値の違いを識別しやすくするためにレベルスライス画像を作成した。ここでは階調数を 256 から 6 に減らし、濃度値の変化を色の変化として明示した。本研究では、図 5a, d, g のように水域は黒色に、陸域では NDVI が小さいほど赤色に近づき、大きくなるにつれて緑色になるように色づけを行った。

土地被覆分類とは、類似する反射特性をもつ画素をグループ化する処理である。本研究では故障のため使用できない ASTER の短波長赤外域のバンドを除く、すべてのバンドを用いて教師付き分類 (最尤法) を行い、市街地、住宅地、森林、草地、水域、水田、畑地、ビニールハウス、裸地、雲の 10 項目に分類した。熊本県には多くのビニールハウスが設置されている。分類項目にビニールハウスを加えることによって、市街地や住宅地への誤分類を軽減することができる^[8]。

温度分布画像は熱赤外域のバンド (TM-6, ASTER-14) を用いて作成した。地表面の温度が高いほど熱放射が多くなるため、DN 値が大きくなる。TM-6 は 8 ビット、ASTER-14 は 12 ビットと高温分解能であるが、DN 値の違いを識別しやすくするために、8 階調のレベルスライス画像を作成した。図 5c,



図 4 衛星データの解析領域

f, i) に示すように、DN 値が小さい場所は寒色、大きい場所は暖色で表示されるように色づけた。LANDSAT 衛星および TERRA 衛星は午前 10 時前後に熊本付近を観測するため、温度分布画像は午前 10 時ごろの地表面温度分布を表している。TM-6 の DN 値から NASA より公開されている式を用いて算出した輝度温度は実測値との差が大きいことが知られている^[9, 10]。そこで本研究では地表面温度分布画像を相対的な温度比較を行う目的で使用する。

3.2 結果と考察

1988 年、1998 年、2010 年の植生指数画像、土地被覆分類画像、温度分布画像を図 5 に示す。熊本市の区割と近郊の市町を図 6 に示す。ベースは 1988 年の True color 画像である。

植生指数画像 (図 5a, d, g) より、人工建造物が多いところで NDVI 値が小さいことがわかる。区ごとにみると、中央区の中心市街地では特に建物や道路が密集しているため、周囲より赤く表示されている。熊本城周辺 (図 5a の A) は植生が豊かであるため、NDVI 値が大きく黄緑色から黄色に表示されている。区内で大きな経年変化はみられない。東区は 5 区の中で最も植生の経年変化が大きかったことがわかる。熊本市の中心部から放射状に伸びる道路沿いに NDVI 値が大きく減少して赤色やオレンジ色で表示される領域が東の方向へ広がっている。西区は区の北半分を金峰山が占めており NDVI 値が大きく、深緑色や緑色で表示されている。有明海上をみると、1988 年の植生指数画像ではまだつくられていなかった人工島の熊本港が 1993 年に開港したため、1998 年と 2010 年の植生指数画像では海上に赤色の場所 (図 5d, g の B) が確認できる。南区と北区は農地が広く分布しているため、NDVI 値が大きく緑色や黄緑色で表示されている場所が多い。しかし、1998 年から 2010 年の間に九州新幹線の車両基地ができたために 2010 年の植生指数画像では、車両基地の場所 (図 5g の C) で大幅に NDVI 値が減少したことがわかる。

図 5b, e, h) に示す土地被覆の経年変化より、熊本市では道路沿いに市街地および住宅地が北東方向へ広がっていることがわかる。特に 2004 年に菊陽町にできたニュータウン周辺 (図 5h の D) では市街地化が顕著に現れている。嘉島町に建設されたショッピングモールでは、1988 年の土地被覆分類画像では水田だった場所が、1998 年時点では一部市街地に変化している (図 5e の E)。2010 年では大型ショッピングモールが完成しており、さらに市街地が広がっている (図 5h の E)。また南部でも幹線道路沿いに市街地化が進んだり、九州新幹線の開通に伴って富合町に九州新幹

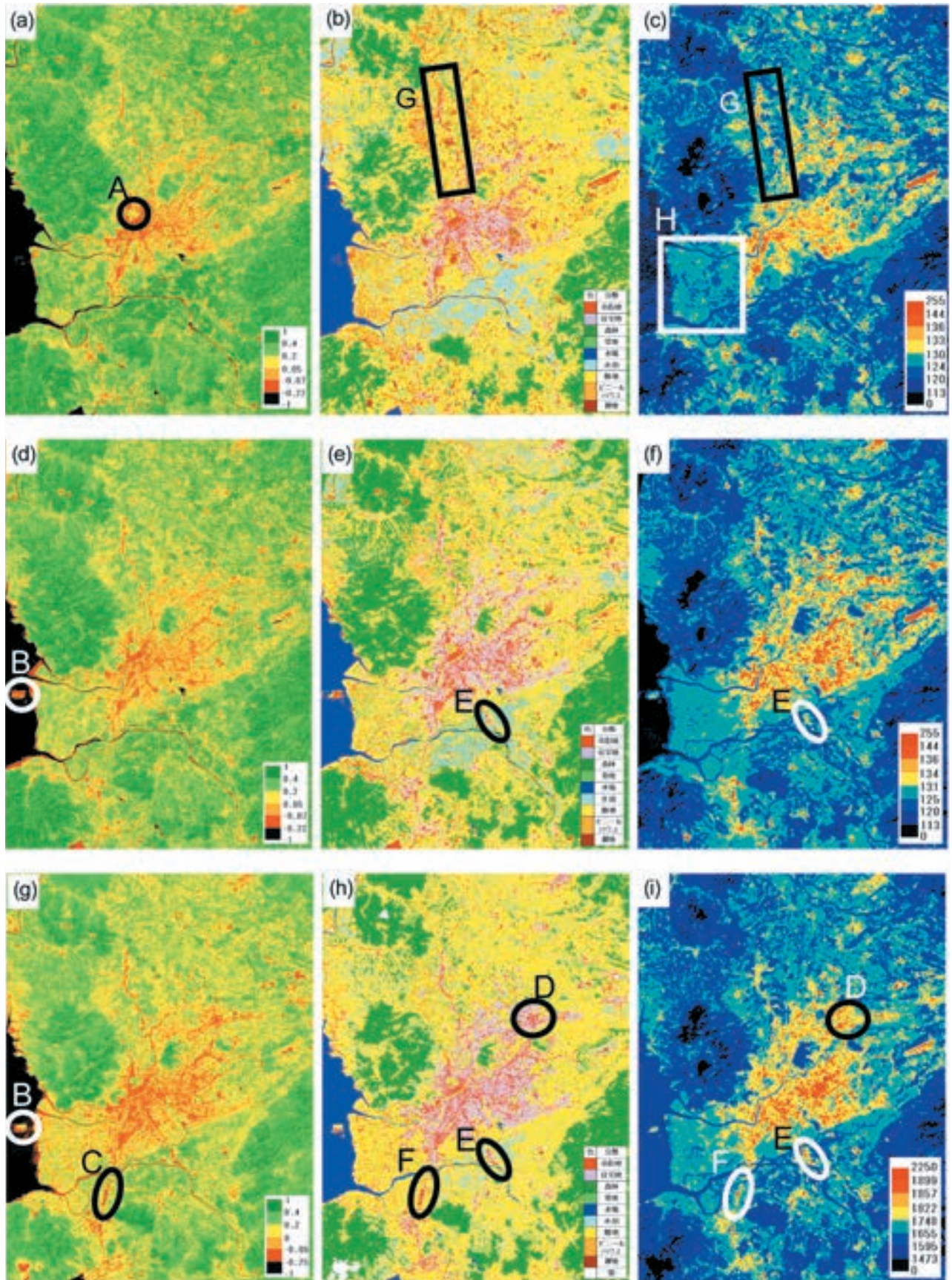


図5 1988年（上段），1998年（中段），2010年（下段）の
 植生指数画像（左）・土地被覆分類画像（中央）・温度分布画像（右）

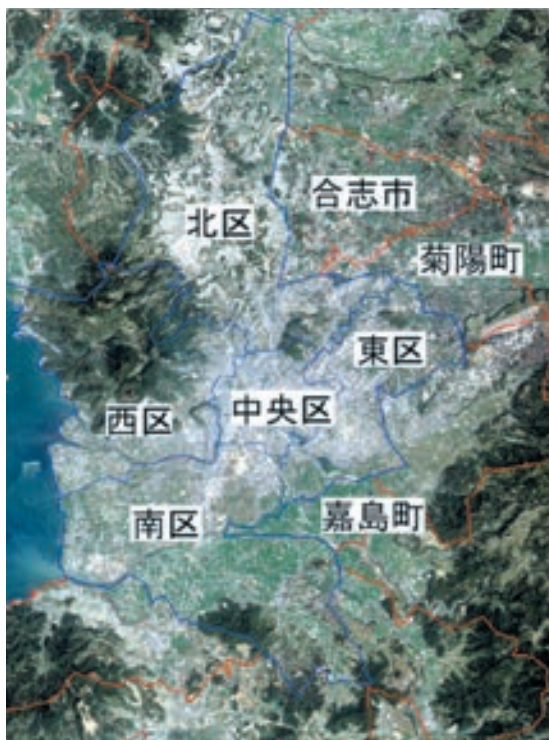


図6 熊本市の区割と近郊の市町

線車両基地ができたりしており、1998年には農地として分類されていた場所が2010年には市街地となっている(図5hのF)。土地被覆分類画像では植生指数画像で植生指数が大きく減少した領域の具体的な土地被覆の変化をみることができる。

温度分布画像(図5c, f, i)をみると、熊本市の中心部では、地表面の温度が高く、画像中で黄色から赤色の高温域として表示されている。熊本市の中心部は、ほとんどが市街地や住宅地であり地表面の多くがアスファルトやコンクリートに覆われ、植物の蒸散や地面からの水分の蒸発が少ないため、地表面の温度を上昇させていると考えられる。熊本市中心部から、北に走る幹線道路沿い(図5bのG)には商業地や住宅が建ち並び、市街地となっている。温度分布画像をみると、この幹線道路沿いでは地表面の温度が高くなっている(図5cのG)。一方、農地が広がっている熊本市西部(図5cのH)は地表面の温度が低い。2章で述べたように熊本市の年平均気温には都市化の影響がみられたが、衛星データからも熊本市のような中規模の都市でもヒートアイランドがおこっていることを確認することができる。温度分布画像の経年変化に着目すると、植生指数画像や土地被覆分類画像でみられた市街地や住宅地が北東方向へと広がっていく様子と同様に、温度分布画像でも温度が高い領域が広がっている。また菊陽町に2004年にできたニュータウン周辺(図5hのD)では特に温度が上昇した場所が広範囲に広がっている(図5iのD)。嘉島町のショッピングモール周

辺でも、1998年(図5e, fのE)、2010年(図5h, iのE)と土地被覆分類画像の市街地の広がりによって地表面の温度が高い場所が広がっている。同様に、九州新幹線の車両基地辺り(図5iのF)でも農地が市街地化した部分で周囲に比べて温度が高くなっていることが確認できる。土地開発によって地表面温度が上昇した様子がよくわかる。

4. 素材提供と教材化

4.1 熊本の気候に関する素材

(1) 熊本県内各地の気候情報

児童生徒にとって、より身近な地域素材・教材を提供するために、本研究で選定した13地点の気温データにみる熊本の気候変動の解析結果を整理し、ホームページ^[7]を作成した。ただし、2008年までのデータに基づく解析結果である。例として、阿蘇乙姫における解析結果のまとめのページを図7に示す。このページをA4用紙1枚にまとめたpdfファイルも提供している。子どもたちに身近な地域の自然環境の時間的変化を考えさせる教材として使用することができる。さらに、地域特性・気象特性の異なる他の地域の情報も併せて教材として利用することによって、身近な自然環境を他の地域と比較して、より広い地域の環境について考えさせることが可能である。また、人間活動が自然環境に与える影響について考えさせる教材として、4.2節の衛星画像教材とあわせて熊本市の気候情報を利用することも考えられる。

(2) 情報カメラ画像

雲や霧の様子や天気の様子や移り変わり、火山噴煙、大気現象などを映像観測して地域素材として提供するために、熊本県と鹿児島県の各地に情報カメラを設置し、データベースを作成してインターネットを介して公開・提供している^[11]。例として、阿蘇山特別地域気象観測所とほぼ同じ標高で西北西約2kmに位置する阿蘇火山博物館からみた東の空の様子を図8に示す。2013年9月7日の記事欄^[4]をみると、視程計(現象判別付)による観測として「15:47~17:07はもや、17:07~17:17は霧、18:17以降はもや」が記録されている(阿蘇山測候所における気象観測は2009年10月から自動化された)。図8の画像と整合的である。熊本県内4つの予報区分内に一台ずつネットワークカメラを設置して、1時間1枚の画像を自動アーカイブしている。したがって、熊本市、阿蘇山上、荅北町、あさぎり町のライブ画像および過去の画像が利用可能である。

気象庁では、全国の気象官署(熊本は熊本地方気象

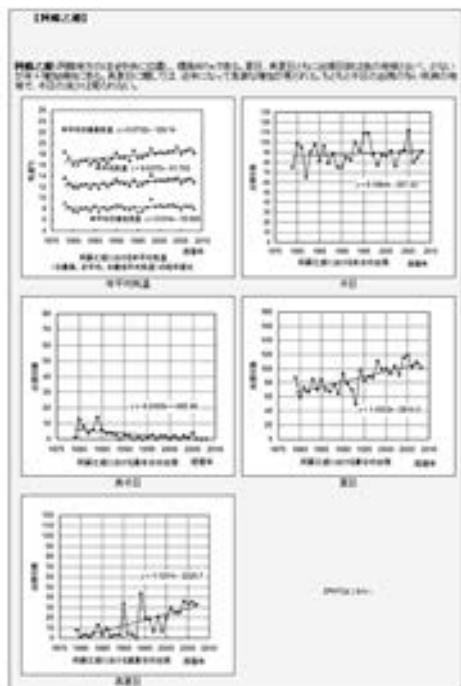


図7 阿蘇乙姫における年平均気温および階級別日数の経年変化（1979～2008年：猛暑日・熱帯夜の出現はゼロ）

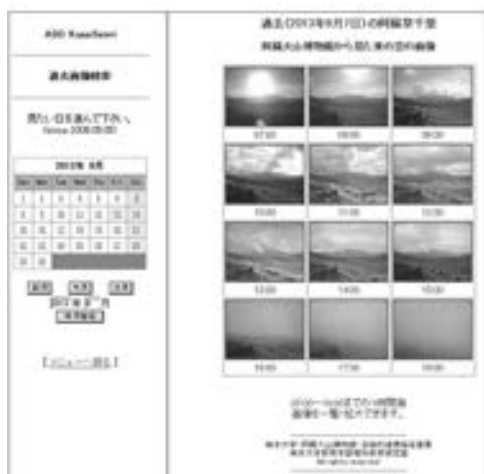


図8 阿蘇火山博物館からみた2013年9月7日の東の空の様子

台)で「生物季節観測」を行っており、この情報は季節の遅れ進みや、気候の違いなど総合的な気象状況の推移を把握するのに用いられている。著者らは、ネットワークカメラに加えて、熊本市ではデジタルカメラを用いて樹木などをインターバル撮影し、データベースを作成してインターネットを介して提供している^[12]。概ね半年に一度、データ更新を行っている。植物季節観測画像資料としての利用例として、2008年と2009年の3月25日のソメイヨシノの様子を図9aに示す。熊本地方気象台が観測した2008年と2009年のソメイヨシノの開花日はそれぞれ3月22日

と3月16日、満開日はそれぞれ4月1日と3月24日である。図9aのソメイヨシノの様子は熊本地方気象台の記録と整合的である。1981～2010年の平年値は開花日3月23日と満開日4月1日であることから、2008年は平年並みで2009年は季節の進みが早かったことがわかる。図9bは、2012年3月15日～2013年4月4日の1週間ごと（16時ごろ撮影）の画像である。画像の左側に落葉樹のケヤキ（手前）とイチヨウ（奥）が写っており、発芽や黄葉、落葉の様子が記録されている。熊本地方気象台の記録によると、イチヨウの2012年の発芽、黄葉、落葉日はそれぞれ4月4日、11月21日、12月4日、2013年の発芽日が3月25日である。図9bは気象台の記録と整合的である。樹木写真は季節の進みを実感する教材となりうる。

4.2 衛星データを用いた教材

(1) 土地被覆と地表面温度の関係を調べる教材

教材用の2010年の土地被覆分類画像と地表面温度分布画像を図10a, bに示す。教材ではビニールハウスを畑地として分類した画像を使用する。植生指数画像や温度分布画像のレベルスライスのカラーバーは、NDVI値やDN値ではなく、植生の多少や温度の高低というように相対的な表示にしている。これらの画像から、熊本市の中心部から幹線道路沿いに市街地や住宅地が広がっており、地表面温度が高くなっていることや、市街地・住宅地の領域を農地や森林の領域が囲んでおり、これらの領域の地表面温度は市街地や住宅地の領域に比べて低いことなど、3.2節で述べたようなことがわかる。同じ画像領域の地図画像とTrue color画像（図6の線や文字の書き込みがない画像）を基礎情報として、4枚一組の教材を作成した。1988年と1998年も同様に作成した。これらの教材は、単年で使用する場合は土地被覆の違いによる地表面温度の違いを詳しく調べる教材として使用できる。複数年の画像を使用することによって、経年変化を調べる教材としても使用できるが、その場合は注意が必要である。土地被覆分類画像の経年変化をみる際に、実際には土地利用は変わっていないものの、土地被覆分類の誤分類や植物の生育状況の違いが影響した部分に着目する児童生徒がでてくる可能性があるからである。そこで、市街地と住宅地をあわせて市街地、水田と畑地をあわせて農地として、分類項目数を9から7に減らした土地被覆分類画像も作成した（図10c）。授業の目的や児童生徒の実態に応じてタイプを選択することが可能である。

(2) 都市開発による熱環境の変化を調べる教材

1998年と2010年の植生指数画像を図11a, cに、



図9 生物（植物）季節観測画像の例

- (a) 3月25日のソメイヨシノ（2008年，2009年）
- (b) 樹木の1年（2012年3月15日～2013年4月4日）

温度分布画像を図11b, dに示す。植生指数画像を比較することによって都市化の進展を調べることができる。例えば、3.2節で述べた九州新幹線車両基地や大型住宅団地（ニュータウン）などは、植生域（緑色）から非植生域（赤色）へとNDVI値が顕著に減少した領域を探すことによって見つけることができる。しかし、農地（白丸で囲った領域）においては、作物の植え付け時期や生育状況といった耕作段階の違いによるNDVI値の変化があるため注意が必要である。そこで、都市化の進展をよりわかりやすく表現するために、土地被覆分類画像で市街地と住宅地に分類された領域を抽出して都市進展図を作成した。図11eに1998年から2010年にかけての都市進展図を示す。黒で表示されている領域は1998年時点ですでに市街地・住宅地であった領域および水域である。赤で示される領域が1998年から2010年の間に新たに市街地あるいは住宅地に変化した場所である。開発された場所の植生指数や地表面温度の経年変化を調べるときの補助教材として、図10fに示す2010年都市域の画像を作

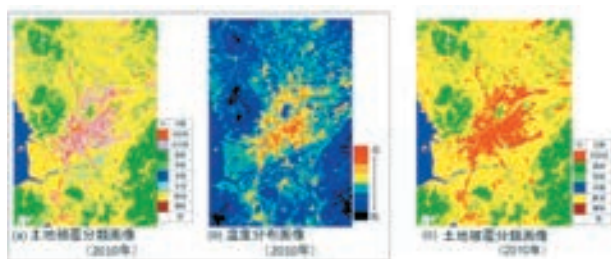


図10 土地被覆と地表面温度の関係を調べる教材

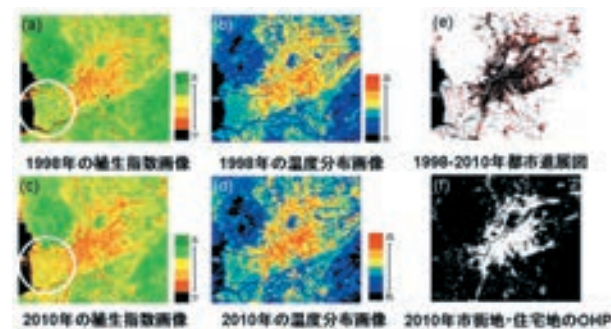


図11 土地開発による熱環境の変化を調べる教材

成した。これは2010年の土地被覆分類画像で市街地・住宅地に分類された領域を白、それ以外の領域を黒に塗り分けたマスク画像である。OHPフィルムに印刷した図11fを都市進展図（図11e）に重ねて都市開発された場所に印をつけたあと、植生指数画像（図11a, c）や地表面温度分布画像（図11b, d）に重ね合わせることによって、開発された場所の特定や熱環境の経年変化を容易に調べることができる。これらの教材に加えて、都市進展図をGoogle Earthにオーバーレイしたkmzファイルを用いて、都市開発された場所が実際にどこなのか調べられるようにした。

5. おわりに

衛星データを用いて作成した教材を使用して、中学生や大学生を対象に読み取り調査や授業実践を行った。回収したワークシートとアンケートの分析から、9項目に分類した単年の土地被覆分類画像は中学校用の教材として使用可能であることや地域教材の有用性を確認することができた^[8]。

今後は、熊本県内各地の気温データにみる気候変動の解析結果と衛星データを用いた熱環境教材、および気象庁などによる気候変動に関する情報などを取り入れた、局地スケールのヒートアイランドからグローバルスケールの地球温暖化について考えるような学習プログラムを開発していく予定である。さらに、防災教育・減災教育の観点も含めて総合的に気候変動と異常

気象（猛暑や大雨）との関係を考える教材を作成するための基礎研究も行っていきたい。

※ URL はすべて 2013 年 9 月 30 日に確認。

※本論文の衛星データ解析結果は、日本科学教育学会研究会研究報告 Vol.26 No.2, pp.59-64, 2011 で発表した。

謝 辞

熊本地方気象台の職員の皆様には貴重な資料やご助言をいただきました。また気象累年原簿の閲覧で大変お世話になりました。心より感謝いたします。地上映像観測システムの設置について、阿蘇火山博物館、熊本県富岡ビジターセンター、あさぎり町立岡原小学校に感謝いたします。本研究は MEXT 科研費 21700791, JSPS 科研費 2450106 の助成を受けたものです。

参考文献・URL

- [1] 文部科学省, 中学校理科学習指導要領解説理科編, 大日本図書, 2008.
- [2] 丸山茂徳ほか, 高等学校理科総合 B, 数研出版, 2006.
- [3] 熊本地方気象台, 熊本県の気候, 1961.
- [4] 気象庁, 気象統計情報 過去の気象データ観測, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- [5] 気象庁, 気候変動に関する政府間パネル第4次評価報告書第1部作業部会報告, 政策決定者向け要約, 2007. http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th/syr_spm.pdf
- [6] 気象庁, 気候変動監視レポート 2012, 2013. http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/monitor/2012/pdf/ccmr2012_all.pdf
- [7] 熊本大学教育学部理科教育研究室, 気象データにみる熊本の温暖化. <http://es.educ.kumamoto-u.ac.jp/kumamoto/atemp/>
- [8] 山中美季, 地球観測衛星データを用いた熊本の熱環境解析とその教材化, 平成 23 年度熊本大学教育学研究科修士論文, 96p, 2011.
- [9] 矢野利明・鳥居修一・木下紀正・平田賢志, 人工衛星データを用いた地表面温度の推定, 日本機械学会論文集 (B 編), 61 巻 585 号, pp.319-325, 1995.
- [10] 稲永麻子・竹内章司・杉村俊郎・吉村充則, NOAA/AVHRR の観測輝度温度に基づく LANDSAT/TM の観測輝度温度誤差の補正, 日本リモートセンシング学会誌, Vol.16, No.4, pp.10-20, 1996.
- [11] 飯野直子・金柿主税, 定点観測映像の防災・気象教育における利用, 日本科学教育学会研究会研究報告 Vol.24 No.2, pp.45-48, 2009. <http://www.jsse.jp/jsse/kenkyu/090210.pdf> <http://es.educ.kumamoto-u.ac.jp/ese/>
- [12] 熊本大学教育学部理科教育研究室, 熊本大学教育学部理科棟から見た南の空. http://es.educ.kumamoto-u.ac.jp/view/kumadai_sci/