

新旧 Landsat 熱バンド画像にみる温排水の判読

日大生産工(学部)○福島 滉貴, 白井 道正, 清水 嶺, 中村 光士郎
日大生産工 杉村 俊郎

1 はじめに

1972年, 米国NASAによりLandsat1号が打ち上げられた。現在2013年2月11日に打ち上げられたLandsat8号までシリーズは継続されている。Landsat4号以降に搭載されたセンサTMは地表面温度を観測できる。Landsat5号以降の特徴を表1に示す。Landsat5号から7号へは空間分解能は2倍に向上しているが, 温度分解能に変化はない。またLandsat7号は2003年5月31日にスキャン位置補正用装置(LSC)が故障しており, 一部画像に欠損箇所がある。Landsat8号の空間分解能は100mであるが, 観測波長帯が2バンドになり, 温度分解能が12bitに向上している。

本研究では原子力発電所からの温排水を例として, 1984年以降約30年にわたり継続して観測された温排水情報の判読を行い, 各センサがとらえた熱情報の違いを確認し応用事例について検討した。

2 使用データ

それぞれ特徴の違う地域, 立地条件や流れの関係等から柏崎刈羽, 川内, 伊方, 高浜の4か所を対象地域とし, 表2に示すLandsatデータを選定, 使用し判読を行った。データは, アメリカ地質調査所(USGS)から誰でも入手可能で, 本研究では主に1-3月, 9-12月の冬季(一部夏季の画像含む)データを中心に選定した。

3 判読結果

図-1に高浜(2009年2月7日, Landsat7号により観測)のデータの熱赤外画像を示す。Landsat/TMの熱バンドデータを表示したモノクロ画像は温度が低い領域は暗く, 温度が高いと領域は明るく示されている。この画像を目視で確認することで判読を行い, 以下の結果が得られた。

表1 Landsatの特徴

	Landsat-5 Band6	Landsat-7 Band6	Landsat-8 Band10	Landsat-8 Band11
打ち上げ日	1984/3/1	1999/4/15	2013/2/11	
運用期間	2013/1/15	運用中	運用中	
観測波長(μm)	10.4-12.5	10.4-12.5	10.60-11.19	11.50-12.51
空間分解能(m)	120	60	100	100
温度分解能(bit)	8	8	12	12
観測値あたりの温度(°C)	0.5	0.5	0.02	0.02

表2 使用したLandsatデータの観測日

I. 高浜・大飯原子力発電所		II. 川内原子力発電所	
Landsat	日付	Landsat	日付
5	1985/5/4	5	1986/3/25
5	1985/7/23	7	2001/3/26
5	2000/7/16	7	2010/3/19
7	2009/2/7	7	2014/10/8
7	2009/4/12	8	2015/10/19
7	2009/11/6	8	2015/11/4
7	2011/5/20		
7	2016/2/11		
8	2014/11/28		
8	2016/4/23		

III. 伊方原子力発電所		IV. 柏崎刈羽原子力発電所	
Landsat	日付	Landsat	日付
5	1986/11/6	5	1984/10/10
7	1999/10/24	5	2000/11/7
7	2011/3/31	7	2009/10/23
7	2014/3/23	7	2011/10/29
7	2015/3/26	8	2015/10/16
8	2016/3/20		

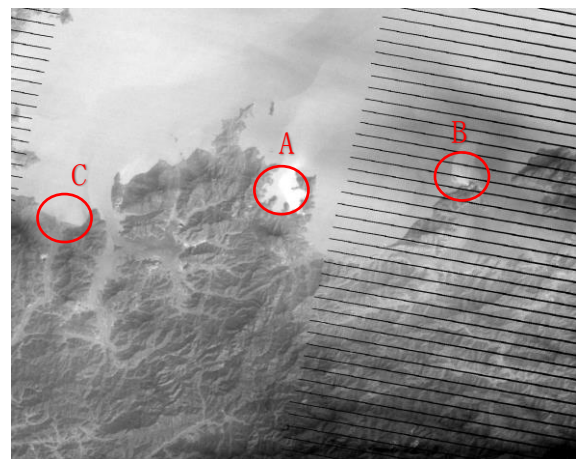


図1 高浜・大飯発電所(2009年2月7日)

Interpretation of Thermal Drainage on Images Observed by Landsat-5-8

Koki FUKUSHIMA, Michimasa SHIRAI, Takane SHIMIZU

Koushirou NAKAMURA and Toshiro SUGIMURA

3. 1 高浜・大飯原子力発電所

高浜・大飯原子力発電所は若狭湾に面し、それぞれ4基の原子炉を保有している。震災前後の画像として2009年と2016年の2月を図1,2にLandsat5号と8号の画像として2000年と2014年を図3,4に示す。図中のA,Bは高浜,大飯各発電所の位置を示している。高浜発電所は内浦湾に面しているが、湾内の温度が一様になっていることが判読できる。また大飯発電所は直接若狭湾に面していることから、温排水の流出状況が見て取れる。一方,Landsat5号および8号の画像からは、空間分解能の違いから7号の画像よりも流出パターンが不明瞭である。

観測画像の測定値DN(Digital Number)を調査すれば、海面の温度差が求められる。発電所の排出口(A,B)と西方に位置する由良川河口(C)のDN値を測定すると、図1ではそれぞれ112,100,90、図2では108,106,98、図3では134,139,132、図4では23130,23037,22441であった。

図1ではA,BのDN値の差は12(6°)であり、両発電所の活動に違いが認められる。稼働中の原子炉に差があるものと思われる。またA,Cの差22(11°)であり、温排水の影響が認められる。

図2ではA,BのDN値の差は2(1°)、A,Cの差は10(5°)であった。2016年の時点では、原発停止に伴い原子炉は稼働していない。発電所が面する海面温度は下がっている。

図3では、A,Cの差が2(1°)、B,Cの差が7(3.5°)であった。高浜発電所の影響は確認出来ないが、大飯発電所からの温排水による影響は確認出来る。

図4では原発停止後の画像であり、発電所の活動は認められない。A,B,CのDN値を温度に変換するとそれぞれ13.89,13.65,12.06 $^{\circ}$ となった。これら数値からも発電所が活動していない時の温度差は低いことが確認出来る。

Landsat5号,7号,8号では、観測画像に違いが見られ、分解能の高い7号画像からは明瞭な流出パターンの判読が可能であった。しかし、5号および8号の分解能が120m,100mであり、原発停止後の明瞭なパターンを判読するには難しいことがわかった。

3. 2 川内原子力発電所

川内原発は九州南西に位置し、東シナ海に面している。現在稼働中の原発で、原子炉3基を保有している。Landsat5号が1986年3月に、Landsat7号が2001年3月に、Landsat8号が2015年10月に観測した画像をそれぞれ図5~7に示す。図中Dが川内原発で、排水口付近にわ

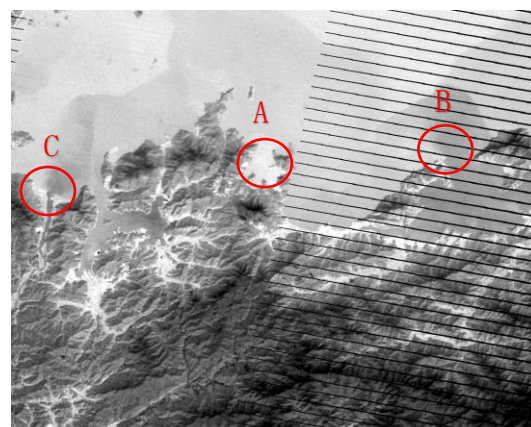


図2 高浜・大飯発電所(2016年2月11日)

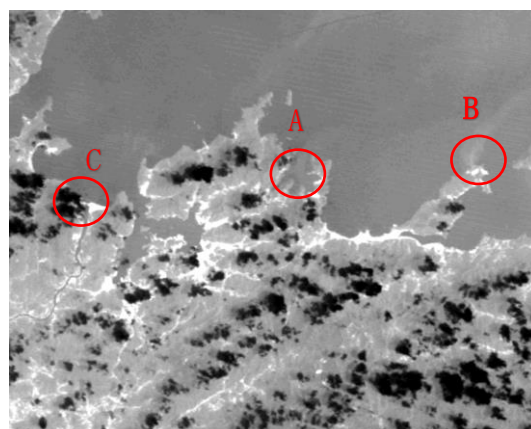


図3 高浜・大飯発電所(2000年7月16日)

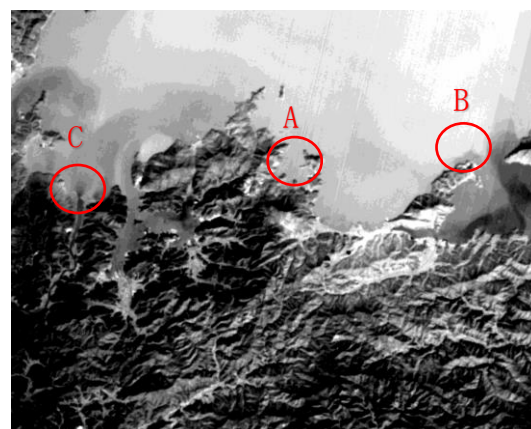


図4 高浜・大飯発電所(2014年11月28日)

ずかに温度の高い領域が認められる。原発排水口(D)、北側に位置する川内川河口(E)において観測値(DN)を比較した。図5ではそれぞれ128,112で温度差8 $^{\circ}$ 、図6では129,120で温度差は4.5 $^{\circ}$ 、図7では25911,27572で温度差は4.03 $^{\circ}$ であった。

1986年の画像では発電所からの温排水が顕著であるが、2001年,2015年の画像では1986年ほど明瞭には判読出来ない。原発の規模や排水処理の違い等が影響しているものと思われる。

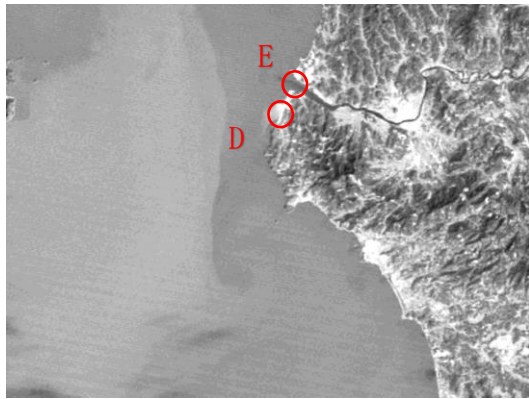


図5 川内発電所(1986年3月25日)

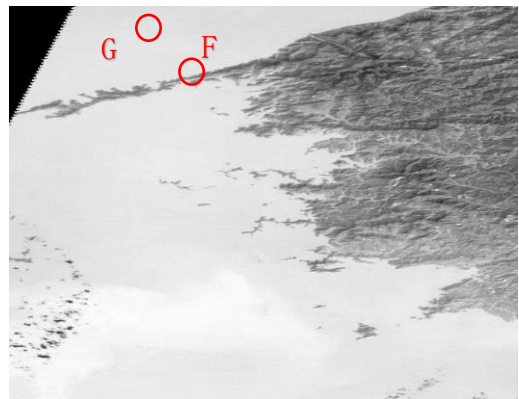


図8 伊方発電所(1986年11月6日)

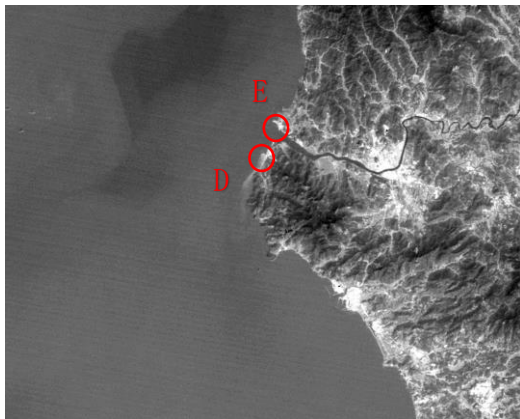


図6 川内発電所(2001年3月26日)

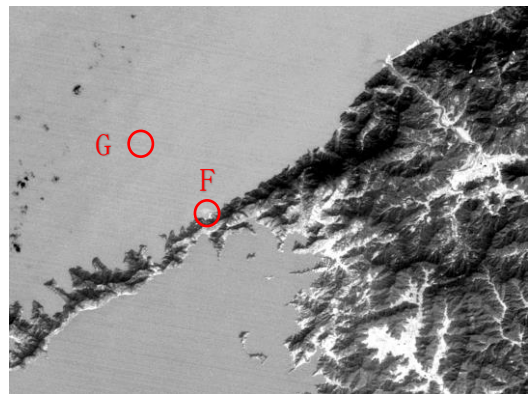


図9 伊方発電所(1999年10月24日)

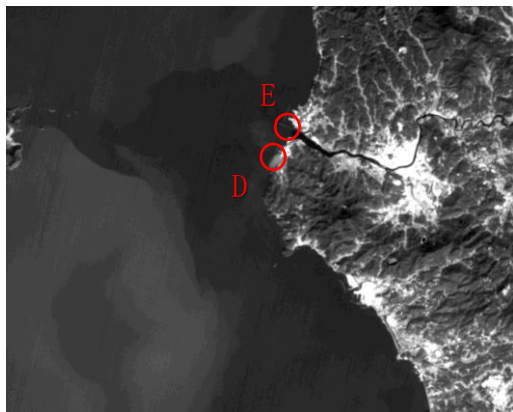


図7 川内発電所(2015年10月19日)

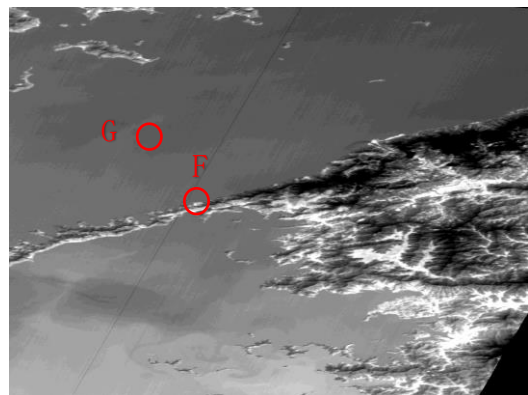


図10 伊方発電所(2016年3月20日)

3.3 伊方原子力発電所

伊方原子力発電所は四国の西端,瀬戸内海伊予灘に面し,3基の原子炉を保有している。Landsat5号が1986年11月に,Landsat7号が1999年10月に,Landsat8号が2016年3月に観測した画像をそれぞれ図8~10に示す。図中Fが伊方原発で,排水口付近には明瞭な高温域は認められない。Fと沖合のGのDN値を比較すると,3画像とも両地点のDN値に大きな差は認められなかった。

3.4 柏崎刈羽原子力発電所

柏崎刈羽原子力発電所は日本海側,新潟県の柏崎市と刈羽群にまたがる発電所である。原子炉を7基有しており,発電所の南西には鯖石川,鵜川の2河川が流れている。Landsat5号が2000年11月に,Landsat7号が2009年10月に,Landsat8号が2015年10月に観測した画像をそれぞれ図11~13に示す。原発停止前の2画像(図11,12)には温排水が明瞭に判別出来る。また流出した温排水が沿岸に沿って北上する様子も見取れる。原発排水口(H)と南西側河川の河口(I)の観測値(DN)を比較すると,図11では,137,118で温度差は9.5°,図12では129,119

で温度差は 5° ,図13は24282,24229で温度差は 3.77° であった。2000年と2009年では,温排水の温度,排水域の流出パターンに違いが見られ,2000年の方が規模は大きい。2009年には定期検査のため1~3号機が停止しており,その差が画像に現れているものと思われる。また2015年には全基停止中であり,温排水は認められない。発電所排水口付近は南西側河川から流出する河川水に覆われている。

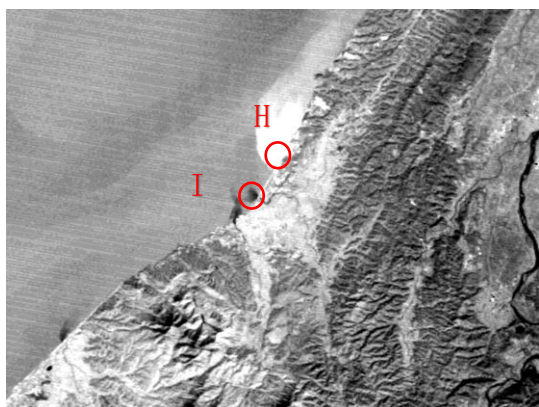


図11 柏崎刈刈発電所(2000年11月7日)

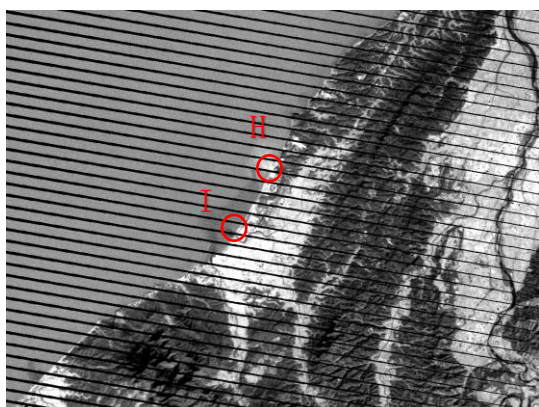


図12 柏崎刈刈発電所(2009年10月23日)

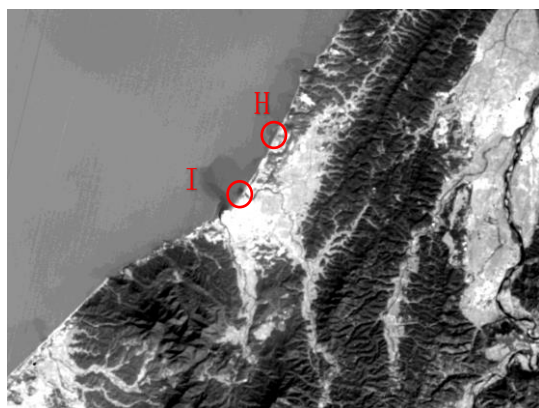


図13 柏崎刈刈発電所(2015年10月19日)

4. まとめと考察

Landsat5号は温度分解能が 0.5° ,空間分解能が120mと低いため温度変化が大きくないと判読は難しい。Landsat7号は,温度分解能は5号と変わらず 0.5° であるが,空間分解能が60mと高く温度変化がわかり易く,細かいところまでの変化も見取りやすくなった。Landsat8号の空間分解能は7号より低い100mながらも,温度分解能は 0.02° になるため,画像は荒くなり細かいところは判読しにくくなるが,温度差が大きいところでは変化は大変見やすくなった。またLandsat8号は海域よりも陸域のほうが詳細な判読が可能であった。

Landsat5号のデータは過去のデータを見る際には有用であり,Landsat7号は2003年以降LSCの不具合によりデータの欠損がみられるが,空間分解能の高さから温排水など水域の流出パターン判読には有効であった。

5. 今後の展望

本研究では新旧Landsat熱バンド画像を使って温排水の判読、比較を行った。センサTMはETM+(7号)、TIRS(8号)へと機能が向上しており、海域では空間分解能の向上が、陸域では温度分解能の向上が判読作業において効果的であった。再稼働に向けて新基準の原発適合性審査が行われており、原発の再稼働が進む可能性もある。今後、原発から出る温排水の熱によって寄与した産業が、その温排水が止まったことによる影響を考えていきたい。

「参考文献」

- 1) 藤井晴雄, 森島淳好, 詳細原子力発電プラントデータブック1994年版, 日本原子力情報センター
- 2) Using the USGS Landsat8 Product
http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php