

# 鹿児島湾, 湾奥部の粒度組成の鉛直変化

## VERTICAL CHANGE IN SEDIMENT COMPOSITION IN THE NORTHERN PART OF KAGOSHIMA BAY

日高 正康<sup>1</sup>・西 隆一郎<sup>2</sup>・東 政能<sup>3</sup>

Masayasu HIDAKA, Ryuichiro NISHI, Masataka HIGASHI

<sup>1</sup>鹿児島大学講師 水産学部漁業工学分野 (〒890-0056 鹿児島市下荒田4-50-20)

<sup>2</sup>正会員 鹿児島大学准教授 水産学部水産生物・海洋学分野 (〒890-0056 鹿児島市下荒田4-50-20)

<sup>3</sup>鹿児島大学准教授 水産学部附属練習船南星丸 (〒890-0056 鹿児島市下荒田4-50-20)

Kagoshima Bay, which is located at the southern part of Kyushu Island, is composed of innermost (Aira caldera) and central (Ata caldera) basins. Innermost basin is connected by only one narrow channel, called Nishi Sakurajima Channel since an eruption of Mt. Sakurajima in 1914, that connected Mt. Sakurajima with Ohsumi Peninsula and closed Sakurajima-seto channel. In addition, expansion of Kagoshima Port makes the channel narrower. As a result, current system, which controls water quality in the bay, might be changed. Direct measurement of current system is difficult in the bay, therefore bottom sediment sampling is applied to estimate the current system. The bottom samples for this study were collected perpendicularly from 24 stations at the area of Nishi Sakurajima Channel to Off Hayato Santo. This study reveals that the current system in innermost basin is composed of three major current systems.

**Key Words:** Kagoshima bay, Sediment composition, Vertical change, Bottom current

### 1. 序論

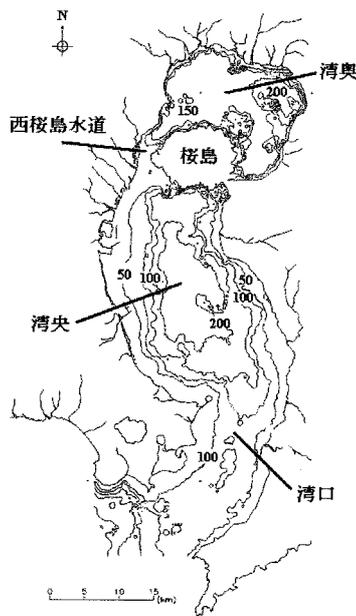
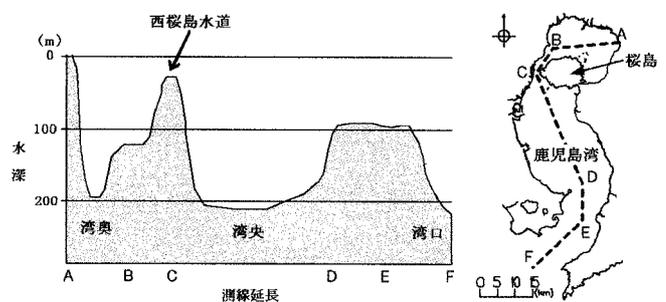


図-1 鹿児島湾の湾口, 湾中央および湾奥の地形

鹿児島湾奥部は, 1913年以前は桜島の東西にあ

る瀬戸海峡と西桜島水道の2か所で湾中央部と通じていたが, 大正の大噴火(1914年)により桜島と大隅半島が陸続きとなって以来, 図-1に示すように鹿児島市と桜島を挟む水路幅約3kmの西桜島水道を通してのみ, 外洋水との海水交換が可能な非常に閉鎖



的な海域となった。

図-2 鹿児島湾中央測線の形状

また図-2のように鹿児島湾は南北約70km, 東西約20kmの細長い湾である。加えて最深部で200mを超え

る阿多，始良の両カルデラが平均水深約30mの西桜島水道で連結されるような形状であり，しかも太平洋に面した湾口部が平均水深約100mの鞍部状であることから，水道より北側にある湾奥部の海水交換は，南に開いた一般の湾よりも劣ると考えられる．さらに厳冬期に起こるとされる海水の鉛直混合についても，底層付近までは混合がそれほど進まないという観測結果も近年報告されている（山中ら，2003）<sup>1)</sup>．加えて，湾奥部では湾岸地帯における住宅地や産業用地の開発，天降川などの河川流入，カンパチ等を含む多数の養殖施設の存在等に伴う水質および底質環境の悪化が懸念されている（前田，2001）<sup>2)</sup>．これらの理由から，鹿児島湾岸の持続的発展の維持のためには，何らかの指標を用いて湾内環境を把握することが必要となる．

海水流動特性を把握する場合に一般に用いられるのは，流速計による流れの実測である．しかしながら調査海域内の西桜島水道周辺海域は，鹿児島港沖合の防波堤建設，埋め立て工事による水道幅の減少や，沿岸部の海水面に並べられた多数の養殖生簀により，船舶が通航することが可能な水域が減少しているだけでなく，好漁場であるために漁船がふくそうする海域でもある．したがって，流速計の長期設置が困難な状況にある．そのため観測海域付近の流速の実測値に関し，公表されたデータを得ることは困難である．一方，湾内の流れ環境指標としての流速を直接測定する代わりに，堆積物が堆積したときの海底直上付近の流れの強さを間接的に示すとされる中央粒径や粒度組成を用いて平均的な流れの状況を推定する手法が考えられる．これは流れが微弱なために流速計による計測が困難な海域を対象とする場合や，広領域での流れの強弱の推定には有効である．本研究では，大隅半島に沿って流入する黒潮暖水舌の一部が達している可能性が高い（大木ら，2005）<sup>3)</sup>とされる西桜島水道から湾奥北部に向かう海域で，表層より3cmまでの海底表層堆積物の底質サンプリングを24地点で行い，1cmごとに中央粒径および粒度組成の空間分布を求める．また，試料の下層堆積物は上層のものより過去に堆積したものであるという仮説に基づき，算出した粒度組成の鉛直変化から，観測海域を支配する流れの強さの数十年スケールの変化も巨視的に読み取ることとする．鹿児島湾の堆積速度については，0.5～4.2mm/年（大木，2000）<sup>4)</sup>という報告があるが，閉鎖性が強いとされる調査海域では堆積速度も比較的早いことが推定されるため，本研究では約10～20年の時間経過における底質環境の変化を読み取ることになる．

## 2. 試料採取地点と解析方法

外洋水の影響下にあると考えられる西桜島水道か

ら湾奥北部の海域を観測海域と定めた．観測地点は水道北部より隼人沖に位置する隼人三島に向かう測線上の12点，その両側に各6点の計24点とした．観測点の位置および水深を図-3および表-1に示す．観測海域の水深は，水道に最も近いSt. 1では42.7mであるが，St. 2からSt. 6にかけて約140mに達したあとは，ほぼその水深のまま湾奥北部へと続いている．各観測点において，採泥器（日本海洋：G.S型表層採泥器）を用いて海底表層堆積物を柱状に抜き取った．

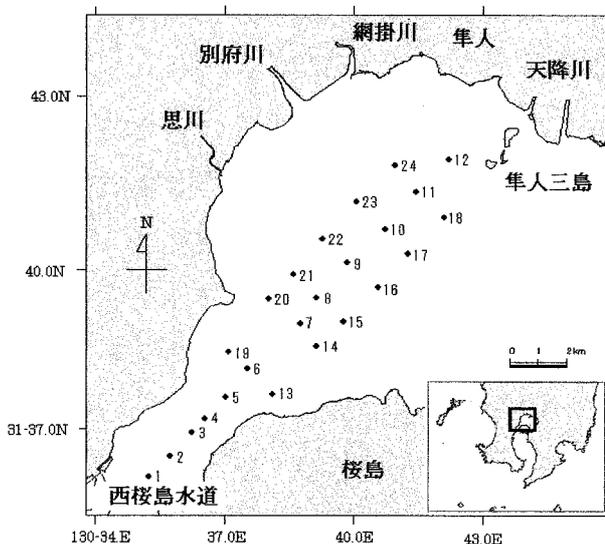


図-3 観測海域および観測点位置

表-1 観測海域の水深と位置

観測点	水深(m)	緯度(N)	経度(E)
1	42.7	31-36.1	130-35.3
2	96.7	31-36.5	130-35.8
3	122.3	31-36.9	130-36.2
4	125.5	31-37.2	130-36.5
5	128.0	31-37.5	130-36.6
6	137.8	31-38.2	130-37.5
7	141.1	31-38.8	130.38.3
8	146.4	31-39.5	130-39.0
9	146.3	31-40.2	130-39.7
10	144.3	31-40.8	130-40.5
11	140.3	31-41.5	130-41.2
12	142.5	31-42.1	130-41.9
13	103.4	31-37.7	130-38.0
14	133.0	31-38.6	130.39.0
15	140.1	31-39.0	130-39.6
16	142.6	31-39.7	130-40.3
17	142.1	31-40.3	130-41.0
18	139.6	31-41.0	130-41.8
19	142.1	31-38.5	130-37.1
20	145.7	31-39.5	130-37.9
21	147.9	31-39.9	130-38.5
22	139.1	31-40.6	130-39.1
23	144.1	31-41.3	130-39.9
24	140.6	31-42.0	130-40.7

表-2 中央粒径， 粒径差および粒度組成

観測点 単位	層	砂 (%)	シルト (%)	粘土 (%)	中央粒径( $d_{50}$ ) (mm)	粒径差 (mm)
1	1	90.0	10.0	0.0	0.432	-0.096
	3	90.6	9.4	4.1	0.529	
2	1	85.4	14.6	0.0	0.453	0.015
	3	87.4	12.6	0.0	0.438	
3	1	60.6	30.8	8.7	0.118	0.054
	3	46.0	39.5	14.6	0.064	
4	1	44.7	44.5	10.8	0.063	-0.051
	3	59.6	31.3	9.1	0.114	
5	1	47.8	37.2	14.9	0.072	-0.022
	3	55.3	33.3	11.3	0.094	
6	1	27.4	59.6	13.0	0.033	-0.004
	3	31.0	54.5	14.5	0.037	
7	1	24.9	60.5	14.6	0.028	0.006
	3	14.8	65.2	20.0	0.022	
8	1	14.4	68.1	17.5	0.019	0.001
	3	6.7	77.4	15.9	0.018	
9	1	4.3	80.5	15.2	0.017	-0.001
	3	19.1	64.7	16.2	0.018	
10	1	4.7	64.7	16.2	0.014	-0.002
	3	8.2	75.4	16.5	0.016	
11	1	4.0	75.7	20.3	0.014	-0.001
	3	3.9	76.6	19.5	0.015	
12	1	0.5	79.6	19.5	0.013	-0.007
	3	16.2	67.2	16.5	0.019	
13	1	30.4	56.8	12.9	0.040	0.007
	3	20.2	63.5	16.3	0.033	
14	1	15.6	68.8	15.6	0.027	0.005
	3	4.1	81.7	14.2	0.022	
15	1	24.9	62.7	12.4	0.022	-0.004
	3	30.5	53.0	16.5	0.026	
16	1	5.3	77.8	16.9	0.020	0.001
	3	1.9	82.8	15.3	0.019	
17	1	7.2	76.1	16.6	0.017	-0.002
	3	17.2	64.5	18.3	0.019	
18	1	14.7	69.5	15.8	0.019	0.001
	3	14.6	69.4	16.0	0.019	
19	1	10.2	72.4	17.5	0.031	-0.005
	3	19.8	66.9	13.3	0.036	
20	1	6.4	76.6	17.0	0.016	-0.003
	3	9.7	78.3	11.9	0.020	
21	1	11.3	73.7	15.1	0.016	0.001
	3	8.8	77.4	13.8	0.015	
22	1	4.0	78.0	18.0	0.017	-0.001
	3	11.1	71.9	17.0	0.018	
23	1	5.1	77.2	17.7	0.015	-0.003
	3	14.1	71.9	14.0	0.019	
24	1	4.5	80.5	15.0	0.016	-0.002
	3	12.8	69.1	18.1	0.018	

※粒径差は，第1層と第3層の中央粒径の差を示す。

この採泥器では同時に3本の試料を採取することができるので，その中から底層水の混濁がないものを選んで，船上にて表層から1cmの部分（以下，第1

層）と表層から2～3cmの部分（以下，第3層）に切り分けた。切り分ける際には，上下層とのコンタミネーションを防ぐために，採泥管の径より小さい径をもつ塩ビ管を1cm幅に輪切りにしたものをを用いて，試料の中心部を型抜きする要領で採取した。

研究室に持ち帰った試料は，まず2mmメッシュのふるいを用いて礫を除去した。砂質および泥質部の粒度分析は，レーザー回折式粒度分析装置（島津製作所製：SALD-3100 測定範囲：0.05～3000 $\mu$ m）を用いて行った。得られた分析結果より，粒径加積曲線を描き，中央粒径 $d_{50}$ の空間分布を各層ごとに求めた。また第1層と第3層の中央粒径の差（以下，粒径差）も求めた。加えて粒子の大きさごとに，粘土（0.004mm未満），シルト（0.004mm以上0.063mm未満），砂（0.063mm以上2mm未満）として各含有率を求めた。中央粒径，粒径差および粒度組成（砂，シルト，粘土の各含有率）を表-2に示す。なお，下層より表層の中央粒径の値が大きい（正の値：上方粗粒）場合，堆積環境を支配する流れが数十年スケールで平均的に強くなったと推定し，下層より表層の中央粒径の値が小さい（負の値：上方細粒）場合，流れの強さが減少したと推定して解析を行った。

### 3. データ解析

#### (1) 第1層の堆積物

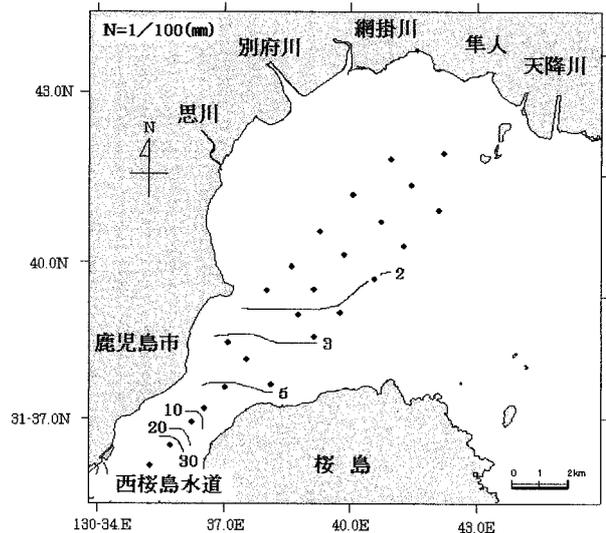


図-4 第1層の中央粒径の等値線 単位(1/100mm)

最初に，現在の海底環境を把握するために，第1層の粒度分析結果について述べる。全観測点の中央粒径は，0.013mm (St.12)～0.453mm (St.2)の範囲となり，これはWentworthの粒度区分では，中粒シルトから中粒砂に該当する。西桜島水道付近の浅水域で大きな値を示し，湾奥に向かうにつれて急激に小さくなる傾向を示す。図-4で示されるように，

水道部で密に描かれる等値線は湾奥に向かうにつれて、間隔が徐々に広がり、数値的にも変化が少なくなる。等値線は観測海域の南部で東向きに張り出すように描かれる。それは特に0.020mmおよび0.050mmの等値線で顕著である。また観測海域の北部および北西部の12点 (St. 8~12, St. 17およびSt. 18, St. 20~St. 24) では、中央粒径が0.020mm未満という非常に細かい粒子で構成されている。

## (2) 第3層の堆積物

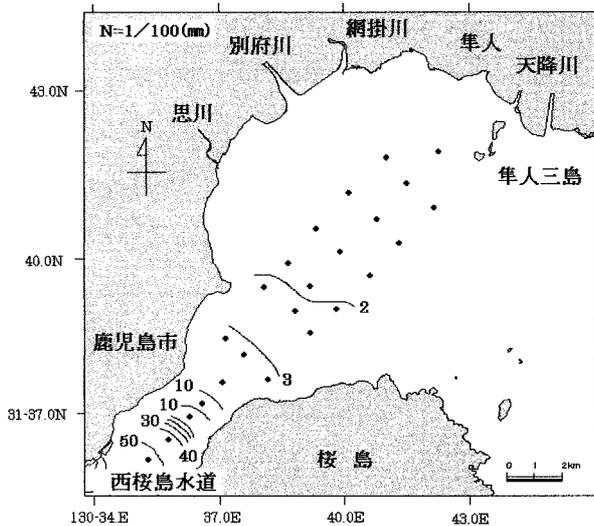


図-5 第3層の中央粒径の等値線 単位 (1/100mm)

第3層の全観測点の中央粒径は、0.015mm (St. 11, 21) ~0.529mm (St. 1) の範囲となり、図-5に示すように全体的に見れば第1層と比べてほとんど大きな変化は見られず、その空間的分布についても同様の傾向が見られる。ただし第1層で見られる0.020mmの等値線の北側への張り出しは第1層ほど顕著ではないこと、水道付近の中央粒径が極端に減少しているところに違いが見られる。

## (3) 鉛直変化 (第3層と第1層の比較)

観測点ごとの粒径差の値より、図-6に示すように観測海域は大きく3つのグループに分類される。一つ目 (海域A) は粒径差が顕著な負の値 (上方細粒) を示す観測点で、これにはSt. 1および4~6, 19, 20の西桜島水道西部海域の6点が当てはまる。二つ目 (海域B) は粒径差が顕著な正の値 (上方粗粒) を示す観測点で、これには主に西桜島水道東部海域に位置するSt. 2, 3, 7, 8, 13, 14, 16, 18, 21の9点が当てはまる。三つ目 (海域C) はSt. 15およびSt. 18を除く湾奥西部の7点 (St. 17, St. 9~12およびSt. 22~24) が当てはまり、全体的に粒径差が負の値 (上方細粒) を示す海域であるが、St. 12およびSt. 24で比較的大きな値を示す以外は、粒径差は小さい。

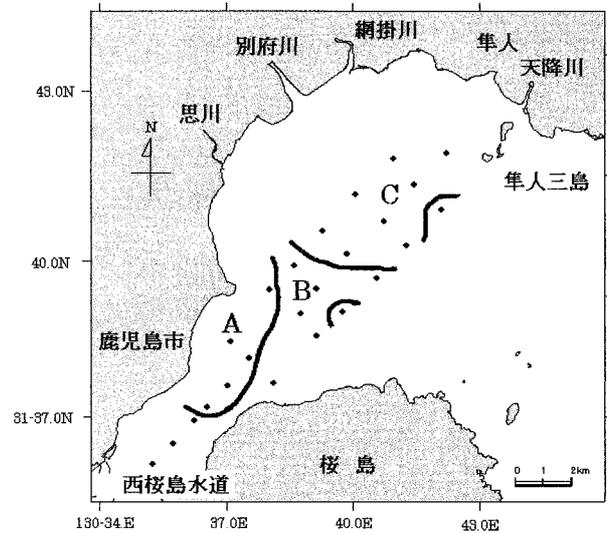


図-6 粒径差に基づく海域区分

## 4. 考察

鹿児島湾は湾口部から流入する外洋水が湾口から湾中央部にかけて反時計回りに流入し、潮汐と相まって湾奥部へ、その一部が流入していることも考えられる。しかしながら湾奥部の海底堆積物の堆積環境および粒度組成の分布に影響を与える主たる要因は潮汐残差流であると考え、以下のような考察を行った。

第1層の中央粒径が示す値を現在の観測海域の底質環境を表わす基準として採用すると、粒径差が正の値を示す観測点では、第3層 (過去) から比べて、その堆積物に影響を及ぼしたであろう海底付近の流れの強さが増大したと一般的に考えられる。これに該当する海域は、西桜島水道付近の2点を除くと、中央測線よりそのほとんどが南東側に位置している。一方、隣接する薩摩半島側の観測点では、逆に顕著な負の値を示す海域も見られ、水道の東西で非常に対照的な結果となっている。また、桜島沿岸部に近いSt. 13およびSt. 14で顕著な増大が読み取れることから、桜島水道北側付近の海底表層付近の流軸が、水道と隼人三島を結ぶ線よりも南東側の桜島北西岸に近い海域へと移動したと推定される。気象庁の1996年から2005年までの桜島の噴火活動に関する資料<sup>9)</sup>によると、桜島の噴火活動は、近年で最も活発であった1999年の237回をピークに減少し続け、2005年は12回となっている。しかもこれらの爆発は、南寄りの季節風が卓越する春から夏にかけての爆発は、2001年以降は、ほとんど観測されていないため、降灰による粒度組成への影響は、ほとんどないのではないかと考えられる。したがって、このように当該海域の流況を大きく変えた要因としては、大正大

噴火に伴う海岸線の前進や、港湾建設に伴い、桜島水道幅が約4kmから約3kmと狭小化したことなどが考えられる。

第1層と第3層の中央粒径に、変化がほとんど見られない湾奥部において、粒径差が比較的大きい負の値を示したSt. 12 およびSt. 24は、観測海域では最も湾奥に位置し、別府川、網掛川など、複数の河川の河口に位置することから、梅雨期にこれらの河川から供給された細粒堆積物による影響ではないかと考えられる。

St. 9では、粒度組成の変化が著しいにも関わらず粒径差が小さい値を示すのは、第1層が第3層に比べシルト部（特に粗粒シルト）の分級が良くなったためである。St. 9とは対照的にSt. 1では、粒度組成には大きな変化が見られないのに、非常に大きい粒径差を示した。これは粒度組成には変化が見られないが、全体的に粒子径が小さくなっていることによるもので、このことは流れの強さの減少を示唆するものである。

上述のことから、調査海域では全体的に粒径差が減少していることがうかがえるが、それらは特に薩摩半島に近い海域で顕著である。これに対して、桜島側で上昇傾向がSt. 2からSt. 13およびSt. 14にかけて見られるため、この付近では桜島北西岸に沿う流れが卓越していることがうかがえる。St. 3およびSt. 4において粒径差が非常に大きい負の値を示したのは、この桜島北西岸沖合に存在する強い流れに隣接して、このような緩流域が形成されたためであろう。

## 5. 結論

海底表層付近の堆積物の粒度組成に影響を与える底層付近の流れについて、流速計による実測が困難な海域であっても、底質の各パラメータを算出することにより流れの状況がある程度把握することが可能であると、本論文では考え、西桜島水道および湾奥で底質採取を行い、その解析を行った。その結果、以下の主要な結論が得られた。

- i) 西桜島水道から湾奥にかけての領域では、底質粒径が水道部では0.072~0.453mmの範囲を示して粗く、湾奥海域では0.012~0.019mmの範囲となり細かくなっている。また、この傾向は

鉛直方向の各層でも同様である。

- ii) 粒径差（粗粒化および細粒化）の顕著な傾向がみられたのは、西桜島水道に近い5測点であった。当該海域の流況を大きく変えた要因は、自然要因としては大正大噴火に伴う海岸線の前進、そして人為的要因としては、港湾建設に伴い、桜島水道幅が約4kmから約3kmと狭小化したことが原因と考えられる。
- iii) 中央粒径および粒径差に基づき区分すると、当該海域は、A:粒径差が比較的顕著な負の値を呈する海域、B:粒径差が比較的顕著な正の値を示す海域、C:粒径差が小さい値であるが全体として負の値を示す海域の3つに分けられる。
- iv) 粒径差に基づいて推定した流れの強さの変化は、西桜島水道付近で最も顕著であるが、水道の西側に位置する海域Aでは負の値（-0.003~-0.051mm:流速減少）、東側に位置する海域Bでは正の値（0.001~0.054mm:流速増大）を示し、対照的である。
- v) 湾奥北西部の海域C（St. 9~12およびSt. 22~24）は、上方細粒化を示す観測点で占められている。

謝辞： 本研究を行うに当たり、試料採取にご協力いただいた鹿児島大学水産学部附属練習船南星丸の乗組員の乗組員と試料の処理および分析を行った高橋健太氏に感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 山中有一, 井上喜洋, 東 政能, 幅野明正: 鹿児島湾の海洋観測-2003-, Bull. Mar. Resour. Environ., Kagoshima Univ., pp. 47-69, 2003.
- 2) 前田広人: 鹿児島湾の底質Bull. Mar. Resour. Environ., Kagoshima Univ., pp. 2-7, 2001.
- 3) 大木公彦, 折見 綾: 判閉鎖的鹿児島湾奥部, 過去32年間の底生有孔虫群集の変化, 月刊海洋, pp. 813~820, 2005
- 4) 大木公彦: 鹿児島湾の謎を追って春苑堂出版, 2000.
- 5) 桜島 (気象庁)  
[http://www.seisvol.kishou.go.jp/fukuoka/506\\_Sakurajima/506\\_index.html](http://www.seisvol.kishou.go.jp/fukuoka/506_Sakurajima/506_index.html)