

— 総 説 —

石黒鎮雄博士の業績
—観測機器・実験装置の開発とアナログコンピューティング
による海洋現象解明のパイオニア—*

小栗 一将[†]

要 旨

戦後間もない時代に中央气象台，続いて長崎海洋气象台に勤め，1960年に渡英した海洋学者，石黒鎮雄博士（1920-2007）は，2017年ノーベル文学賞を受賞した小説家，カズオ・イシグロ氏の父として紹介される機会が多い。しかし博士については，海洋の潮位や波高の研究に携わった研究者であったことと，人生の大半を英国で過ごしたこと以外，あまり知られていない。石黒博士は1940年代末から電子工学や物理学の知識を駆使し，波圧計をはじめとする様々な海洋観測機器を開発した。また，水理模型実験による潮流解析への画像解析技術の導入，電子回路モデルの開発とアナログコンピューティングによる長崎湾に発生する副振動の解析など，先進的な技術を用いて多くの成果を挙げた。1950年代末以降には，英国で，電子回路モデルを用いた潮位の解析装置を大規模なアナログコンピュータに発展させ，北海の高潮予測を可能にした。本総説では，博士の論文ならびに関連資料の調査によって明らかになった石黒鎮雄博士のユニークな研究と，その業績を詳しく紹介する。

キーワード：石黒鎮雄博士，海洋計測技術，副振動，北海の高潮，アナログコンピュータ

1. はじめに

英国の小説家，カズオ・イシグロ氏が「感情に強く訴える小説で，世界とつながっているという我々の幻想の下に隠された闇を明るみに出した」（読売新聞，2017）と

いう功績によって2017年度ノーベル文学賞を受賞した。氏は，テレビ番組（NHK，2011）や文学の視点から氏の小説を考察した書籍（平井，2007；莊中，2011），あるいはインタビューや講演（Ishiguro，2017）を通して知られるように，5歳の時に一家で長崎から渡英した。その理由は，長崎海洋气象台（現，長崎地方气象台）に勤務していた父親の石黒鎮雄博士が，英国国立海洋研究所（National Institute of Oceanography; NIO）に招聘されたためである（Cartwright，2010；光易，2017）。NIOは1973年にInstitute of Oceanographic Sciences (IOS)と合併し，2010年よりNational Oceanographic Centre (NOC)

* 2018年2月21日受領；2018年6月13日受理
著作権：日本海洋学会，2018

[†] 国立研究開発法人海洋研究開発機構 海洋生物多様性研究分野
〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2-15
e-mail: ogurik@jamstec.go.jp

となったが、石黒博士はIOSを定年退職する1983年まで、継続してアナログ電子回路を利用した計算機の開発と、北海における高潮予測の研究を行った。石黒博士が手がけた計算機は、主に抵抗(R)、インダクタ(L)、コンデンサ(C)、そして絶縁型DC/DCコンバータなどの電子部品で構成される電子回路網を組み合わせたアナログコンピュータであった。電子回路式のアナログコンピュータは、かつては主にシミュレータなどの高速演算を必要とする分野で活躍したが、現在では中央処理装置(CPU)、メモリ、インターフェースや外部記憶装置を備えたデジタルコンピュータが主流となり、数値計算の表舞台からは消えている。

英国では、2014年頃から石黒博士の業績が再び注目を浴び始めた(Rooney, 2016)。2015年には、博士がIOSを退職した際に引き取り、自宅に遺されていたアナログコンピュータの科学的価値が認められ、2016年12月より、ザハ・ハディド・アーキテクツのデザインによりロンドンの科学博物館にオープンした新しいフロア「Mathematics: The Winton Gallery」において、「Electronic storm surge modelling machine」として常設展示されるに至った(Devlin, 2016; Kennard, 2016)。このような再評価の背景には、石黒博士が取り組んだ研究が、冬季の波浪や高潮に曝される北海での油田建設を支え(石黒, 1996)、さらには沿岸への高潮警報の発令を可能にした(IOS, 1984)ことによって、英国や北海の沿岸各国の防災に貢献したという功績が存在する。

日本国内において、近年、石黒博士の研究や業績に触れた記事や文献は、青野(2017)や光易(2017)以外はほとんど見かけない。その理由として、1) 石黒博士が国内で研究を行っていたのは1940年代～1950年代の約10年間であり、成果が歳月に埋もれてしまっていること、2) 博士が得意とした電子工学に基づく機器開発やアナログコンピューティングも、新しい種類のセンサの出現やデジタルコンピュータの高速・大容量化と普及によって顧みられなくなったこと、3) 渡英後は現地での研究業務に専念していたこと、4) 石黒博士の優れた研究成果は、一般的な海洋学関係の国際誌にあまり発表されなかったため、博士の研究に関する情報が国内にあまり入ってこなかったこと、5) 国内における海洋学の分野には、博士と同様のアプローチで研究を行った研究者がほとんどい

なかったこと(光易, 2017)が挙げられる。

本総説では、過去に発表された石黒鎮雄博士に関する文献調査を行い、この結果明らかになった博士の研究経歴とその業績を、多少の温故知新を意識しつつ紹介する。内容は全5章の構成とし、以下、第2章では博士の経歴、第3章では博士が国内の研究機関で行った観測機器や実験手法の開発、水理模型実験や電子回路モデルを用いた流れや潮位変動の研究とその成果、第4章では渡英のきっかけ、英国で行ったアナログコンピュータの開発と北海の高潮予測の研究成果、および、電子回路式アナログコンピュータと我々にも馴染みのあるデジタルコンピュータ双方の特徴、そして第5章では博士が定年退職後に行った機器開発、生涯の趣味であった音楽、著作とエッセイについて言及する。博士が行った研究は電子工学の知識に基づいたものが多いが、読者が研究テーマの変遷や時代背景を追う際の妨げとならないよう、本文では専門的な内容にはなるべく触れず、付録に基礎的な部分のみをまとめた。

なお、石黒博士の氏名の漢字表記は文献や時代によって新旧字体の違いがあり、ローマ字表記も「Shizuwo」あるいは「Shizuo」と統一されていない。本総説では、より新しい文献で用いられる「鎮雄」と「Shizuo」に統一した。ただし、引用文献中の表記については原典に従った。

2. 石黒鎮雄博士の経歴

石黒鎮雄博士は、1920年4月に父親の昌明氏が勤務する会社のあった中華民国(現、中華人民共和国)の上海市で誕生した(平井, 2007; 莊中, 2011)。旧制長崎中学校を経て(松本, 2008)、明治専門学校(現、九州工業大学)電気工学科に入学した。同校を卒業後は、陸軍気象部の幹部候補生が教育を受ける(山本, 2015)仙台陸軍飛行学校の気象部隊に配属され(田中, 1977)、国際電気通信株式会社(UNESCO, 1956)や陸軍気象部の教育機関である陸軍気象教育部(中川, 1986; 山本, 2015)に勤めた。終戦後、1946年には中央気象台研究部に所属し、新設された高層気象研究室に勤務した。中央気象台研究部は、1947年に中央気象台気象研究所となった。石黒博士は1948年に長崎海洋気象台海洋課に異動、1956年には

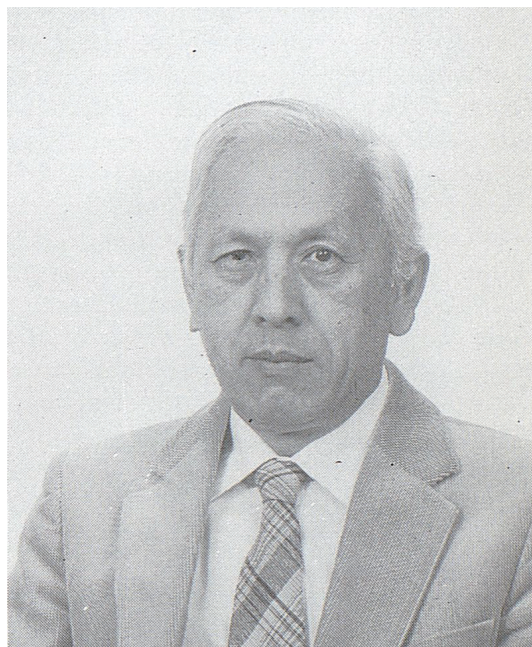


Photo 1. Dr. Shizuo Ishiguro. This portrait photo is cited after IOS (1984) by courtesy of NOC, Southampton.

UNESCO fellowship に選ばれ (UNESCO, 1956), 翌 1957 年より英国, Surrey 州 Wormley にあった NIO で客員研究員を 2 年半勤めた (IOS, 1984; 石黒, 1996)。この間, 合同津波研究会 (Japan Organization for Tsunami Investigations) の会員として米国の Scripps Institute of Oceanography にも滞在している (石黒, 1996)。石黒博士は 1959 年に一時帰国したが (National Oceanographic Council, 1959), 1960 年より Principal Scientific Officer として NIO に勤務し (National Oceanographic Council, 1961; IOS, 1984), 現地で北海の高潮予測の研究業務に携わった。1983 年には IOS を定年退職 (IOS, 1984), 研究業務で使用したアナログコンピュータを引き取り, 自宅で修理や改良を重ねていたが (Kennard, 2016), 2007 年 8 月, 現地で 87 歳の生涯を閉じた (平井, 2007; 荘中, 2011)。Photo 1 に IOS に勤務していた頃の石黒博士の写真を, Photo 2 に, NIO に招聘された直後のスタッフリストをそれぞれ示す。また博士の経歴, 研究テーマや博士にまつわる主な出来事を Table 1 に示す。

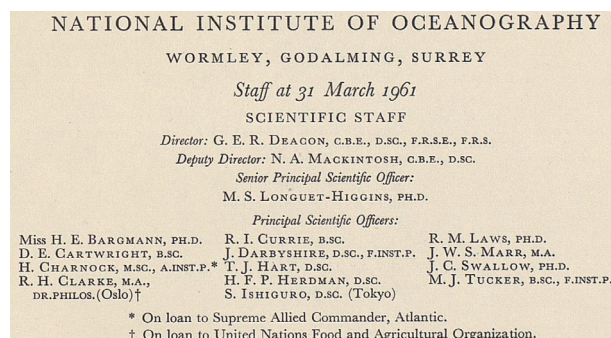


Photo 2. Scientific Staff in NIO on 31 March 1961. Dr. Shizuo Ishiguro is first appeared in the member list as a principal scientific officer in National Oceanographic Council (1961). This photo is presented by courtesy of NOC, Southampton.

3. 日本国内における研究と開発

石黒博士は終戦直後から 1956 年末まで, 電子回路の開発, 水理模型実験による流れや潮位の解析, 観測装置やセンサの開発, アナログ電子回路網を用いた湾内の副振動の解析から潮汐を自動制御する水理模型の開発など, 日本国内の研究機関において幅広い研究を行った。以下に, 終戦から渡英までの間に石黒博士が取り組んだ研究を紹介する。

3.1. 中央気象台での研究

終戦からの数年間, 中央気象台は, 旧陸軍の軍人の受け入れ, 連合軍最高司令部 (GHQ) の命令により陸軍気象部から移管された膨大な資産を賠償対象とするための整理, 労働組合の結成などで混乱を極めていた (須田, 1968; 気象庁, 1975; 気象研究所, 1977)。このような中で, 石黒博士は, 旧陸軍気象部の技術将校であり, 日本のラジオゾンデ開発の第一人者であった湯浅光朝博士 (三浦, 2005; 山本, 2015) の下で, ラジオゾンデに関する研究に従事していた (石黒, 1951a)。中央気象台におけるラジオゾンデの研究は, 戦前の気象台が行っていたものと, 旧陸軍気象部の研究を引き継いだものの 2 系列が存在したが, いずれも東京都杉並区にあった中央気象台天沼分室で行われていた (湯浅, 1977)。この時期に石黒博士が行った研究に, ラジオゾンデ気球のゴム膜に発生

Table 1. Studies and technical developments by Dr. Shizuo Ishiguro and his remarkable life events (in Japanese). Unconfirmed years and places are excluded.

年	場所	学校・勤務先	出来事・業績など	確認できる文献
1920	中華民国 (現・中華人民共和国) 上海市		誕生	平井 (2007); 荘中 (2011)
	長崎県長崎市	旧制長崎中学校		松本 (2008)
	福岡県小倉市	明治専門学校電気工学科	課外活動で音楽部に所属。1943年度卒業	石黒 (1959); 松本 (2008)
	宮城県名取郡玉浦村 (現・岩沼市)	陸軍仙台飛行学校	気象部隊に所属	田中 (1977); UNESCO (1956)
-1945	東京都杉並区/福生市	国際電気通信株式会社 陸軍気象教育部		UNESCO (1956) UNESCO (1956); 中川 (1986); 山本 (2015)
1945-1948	東京都杉並区天沼	中央気象台高層気象研究室	ラジオゾンデの気球ゴム膜の振動計測の研究、 電源回路の軽量化の研究	石黒 (1950a); 石黒 (1951a)
1948	長崎県長崎市	長崎海洋気象台海洋課	金探食の観察	石黒 (1948a)
1948-1950	"	"	水理実験に基づく平戸瀬戸の潮流解析	石黒・藤木 (1950)
1950	"	"	平戸瀬戸の潮流の研究に対し、運輸大臣賞授与	寺田 (1950); 長崎海洋気象台 (1978)
1948-1950	"	"	様々な観測装置 (特に自記式のもの) や、 写真測量に基づく観測手法の開発	1948-1951年の「海象と気象」誌ほか
1948-1956	"	"	自記波圧計およびトランスデューサの開発、 Tucker型トランスデューサの最適設計の検討	石黒 (1956); 石黒ら (1956a); 石黒ら (1956b)
1950-1954	"	"	アナログ電子回路モデルを用いた、長崎湾における 副振動 (あびき) の発生に関する研究	Ishiguro and Fujiki (1955)ほか
1954-1956	"	"	有明海の自動制御水理模型の開発	石黒 (1955); Ishiguro (1959a); 長崎海洋気象台 (1960)
1957-1959	Wormley, England La Jolla, California, USA	National Institute of Oceanography, Scripps Institution of Oceanography	UNESCO fellowshipとJoint Organization for Tsunami Investigation による留学。アナログ電子回路網による湖や内湾の波高解析	石黒 (1996); Ishiguro (1959b)
1958			学位授与 (東京大学 理学博士)	Ishiguro (1958) 学位論文
1959			一時帰国	National Oceanographic Council (1959)
1960-1983	Wormley, England	National Institute of Oceanography Institute of Oceanographic Sciences	アナログコンピュータの開発、この装置を用いた大潮の解析と 北海における波高予測	石黒 (1996)ほか
1983	Wormley, England	Institute of Oceanographic Sciences	定年退職	IOS (1984)
1983-2007	Guildford, England		自宅でアナログコンピュータの改良、 盲人のための文字判読支援装置の開発、執筆など	池田 (1993); 石黒 (1994b); Rooney (2016)
1996			九州工業大学より第33回嘉村記念賞授与	石黒 (1996)
2007			逝去	平井 (2007); 荘中 (2011)

する振動を記録する研究 (石黒, 1950a) と、ラジオゾンデに搭載する電子回路の軽量化 (石黒, 1951a) がある。

3.1.1. ラジオゾンデ気球のゴム膜に発生する振動を記録する研究

終戦直後、中央気象台は、旧陸軍から払い下げられたラジオゾンデを使用して高層気象観測を行っていた (赤松, 1949; 気象庁, 1975)。1946年頃、石黒博士は気球のゴム膜という、通常の振動計では測定不能な柔らかい物体の表面に発生する振動を測定するため、カーボンマイク、フォトセル (光センサの一種)、高周波発振回路といった既存の技術をそれぞれ転用して独自の工夫を施した3種類のセンサを試作した後、気球のゴム膜に発生する振動の記録に成功した (石黒, 1950a)。

石黒 (1950a) の緒言には、研究目的が明確に記されていない。しかし、結言の中に「気象研究所高層気象研究室に於て上層大気の亂れの研究の一部として行つた」という記述があることから、この研究の目的は、ゴム膜の振動から上層大気中における気流の特徴を調べる手法の開発であったことが分かる。石黒 (1950a) によれば、ゴム膜の振動を観測する時間は30分であった。ラジオゾン

デの上昇速度を現在のものと同じ $5 \sim 6 \text{ m s}^{-1}$ (高層気象台, 2011; 阿部, 2015) とすれば、上層とは高度 9,000 ~ 10,800 m までとなる。この高度にはジェット気流が存在する。従って、「上層大気の亂れ」とはジェット気流、あるいはこの気流が起こす乱流現象を指すと考えられる。

本来は緒言に書かれるはずの研究目的が記載されていない理由については、以下のことが考えられる。1) 石黒博士の上司であった湯浅博士は、陸軍気象部でラジオゾンデの開発に携わった (気象庁, 1975; 山本, 2015) だけでなく、風船爆弾の運用部隊にも配属されていた (湯浅, 1977)。陸軍が米国への攻撃に用いた風船爆弾は、当時、日本だけがその存在を把握していたジェット気流を巧みに利用していた。2) 戦後、中央気象台は陸軍気象部から研究者や技術者を受け入れ、旧陸軍の成果の導入を図った。これにより、高層気象観測は大きく発展した (気象庁, 1975)。湯浅博士によるラジオゾンデの研究開発も、このような技術移転の典型であった3) 一方、この研究にはジェット気流に関する高層気象観測という戦時中の機密情報が含まれていた。実際、風船爆弾の資料は焼却されている (山岡, 1977)。この研究が進められた終戦直後から発表に至る1950年頃は、いまだGHQが統治して

いたため、関係者達は、この研究が機密を含む旧軍の研究に関連付けられることを恐れた。そこで石黒博士は、恐らく湯浅博士の指導の下、あえて緒言に目的を記さず発表した、と推測される。

その後、長らく、気象庁は、高層大気の流れの観測には、流向・流速の測定機能をもつレーウィンゾンデを用いていた。しかし、現在では、GPSゾンデ(阿部, 2015)やウィンドプロファイラを用いて精細な高層気象観測を行っており、隔世の感がある。

3.1.2. ラジオゾンデに搭載する電子回路を軽量化する研究

1940年代にはトランジスタなどの半導体素子は市販されておらず、ラジオゾンデの電子回路には真空管と、ブザートランスと呼ばれる電磁型昇圧部品(真空管の動作に必要な高電圧を供給するため)が用いられていた。石黒博士は重量の大きいブザートランスを廃して電子回路を軽量化するべく、コンデンサの直列・並列切替によって発生する電圧の過渡応答を利用した昇圧回路を考案した。開発にあたり、切替回路に用いる接点の接触不良の対策に苦勞したようである(石黒, 1951a)。この論文の結言には、自身の健康上の理由により発表が5年遅れたこと、この間に内外の研究者から同様の回路が発表されてしまったことが記されている。また、後に使用されたラジオゾンデの構成(気象庁, 1975)を見る限り、この方式は実用化されなかったようである。博士の考案した昇圧回路は、現在ではチャージポンプ(スイッチトキャパシタ)回路と呼ばれており、IC化され、携帯電話のディスプレイパネルの光源など、様々な用途に活用されている。

3.2. 長崎海洋気象台での研究

石黒博士は、長崎海洋気象台で初めて海洋の研究に関わった。当時、長崎海洋気象台では日々の観測業務に加え、地元自治体、団体や他の研究機関の要請を受けた海洋調査研究も行っていった。また、職員の業務・研究内容や内外の論文などを発表する談話会も頻繁に開かれていた(長崎海洋気象台, 1978)。長崎海洋気象台が刊行していた学術誌「海象と気象」の第4～6巻には1949～1952年に開かれた談話会の発表者とタイトルが記録されており、当時の研究者達の研究・業務内容や興味などを

知ることができる(長崎海洋気象台, 1950a; 1950b; 1950c; 1952)。石黒博士は1949～1951年頃、談話会で積極的に発表を行っていた。発表内容の多くは、観測機器の開発や紹介、無人観測のことなど、電子・機械工学に関するものであった。

また、石黒博士は「海象と気象」誌の第4巻1号～5巻1-2号の編集委員を務め、限られた予算をやりくりしつつ、謄写版印刷を凸版の活字印刷に改めるなど、冊子の質の向上に貢献した(石黒, 1950b)。以下に、長崎海洋気象台における石黒博士の研究を紹介する。

3.2.1. 日食観測

石黒博士が長崎海洋気象台に着任した直後の1948年5月9日、日本全国で日食(金環食)が観測された。長崎海洋気象台においても日食中の気象・地球物理学に関する観測が行われ、結果が「海象と気象」誌に報告された。石黒博士も静電位計で空中電位の変化を観測した。この時の報告(石黒, 1948a)が長崎における石黒博士のデビュー論文となった。しかし、この観測は自宅で行ったため、報告には気象台の公式観測ではない旨が記された(石黒, 1948a)。

3.2.2. 観測機器の開発

石黒博士は、海洋観測、水理模型の開発と模型を用いた実験、およびデータ解析のための機器開発を積極的に行った。これらは、博士の専門であった電子工学の知識や物理学・数学を駆使して開発されたものばかりで、いざれも物資や技術の不足を補うための創意工夫に富んでいた。1949～1950年頃の「海象と気象」誌には、石黒博士が開発した装置・技術についての論文が数多く発表されている。これは当時、気象台内で開かれていた談話会で検討したものを発表していたことに起因する(寺田, 1950)。Table 2に、石黒博士が長崎海洋気象台で発表した観測・実験装置や手法を示す。当時の「海象と気象」誌に記された談話会の発表タイトルや文献紹介を見る限り、博士は特に自記式装置の開発を意識しており、計測の自動化や無人観測に興味を示していたことが窺える。

石黒博士がとりわけ力を入れて開発した観測機器に、自記波圧計がある(石黒, 1948c; 1949; Ishiguro, 1949; 石黒, 1956; 石黒ら, 1956a; 1956b; Ishiguro, 1957; Nakano,

Table 2. Instruments and technical methods (in Japanese) developed and/or proposed by Dr. Shizuo Ishiguro at Nagasaki Marine Observatory.

開発した装置や手法	発表文献	備考
堆積する風送塵の変動を記録する装置	石黒(1948b)	試作
電磁式波圧変換器と、波高を遠隔記録する装置、携帯型 第1型	石黒(1948c)	〃
電磁式波圧変換器と、波高を遠隔記録する装置、携帯型 第2型	石黒(1949)	有明海の調査等で使用
上記装置の詳細な解説。0~50 t m ² の圧力を精度2~3%で測定。時間誤差1/20 s以下。写真付き	Ishiguro (1949)	〃
エクマン・メルツ型潮流計の検定に用いることもできる、電気接点式流速記録計	石黒(1950c)	平戸瀬戸の潮流観測で使用
螺旋状スリットと直線スリットの組み合わせで、回転動作を直線動作に変換する機構を持つ光学式自記潮流計	石黒ほか(1950)	〃
水理模型実験における手間を減らすために考案した直読式流速計	石黒(1950d)	〃
写真の画角(レンズの焦点距離)、カメラの高さとその伏角に基づき、写真から平面図を作成する写真測量技術	石黒(1950e)	平戸瀬戸・広瀬の地図作成と水理模型実験で使用
上記の写真測量技術で用いられる変換式に基づき、写真から機械的に平面図を作成する製図器械	石黒(1950f)	〃
ピントグラスによる記録や映画撮影によって、流向・流速を定量化する手法	石黒・藤木(1950)	平戸瀬戸・広瀬の水理模型実験で使用
水柱に入れた円筒状の浮きの浮力変化を用いて測定する、自記式波高計	石黒(1950g)	試作
水面の凸凹の高さを等高線図にする写真測量法。水面にグリッドを投影し撮影、静水面との比較を行う	石黒(1950h)	長崎湾と有明海の水理模型実験で使用
電子回路(RLC直列共振回路)を用い、湾内で生じる振動を解析する手法の提案	石黒(1950i)	電子回路による潮位解析法の発表(アイデアのみ)
潮汐振動のグラフから副振動のみを分離、あるいは合成して曲線として図示する製図器械	石黒(1951b)	〃
アナログ演算の電圧入力に用いるための、グラフを磁気テープに記録する方法	石黒(1951c)	アナログ信号として記録
電子回路網を用いた長崎湾に発生する副振動(あびき)の解析	寺田ら(1953)	アナログコンピューティングによる最初の潮位解析
有明海を模した潮汐の自動制御機能付き水理実験模型、およびその要素技術	石黒(1955); Ishiguro (1959a)	石黒(1955)には、各要素技術を発案した日付記録有り Ishiguro (1959a)は、学位論文(Part I)の副論文の内容
電磁式波圧変換器と、波高を遠隔記録する装置、第3型。記録特性と電気的安定性を向上させた携帯型	石黒(1956)	有明海の調査等で使用
波圧センサとして使用する、Tucker型電磁直線性変換器の最適な設計法の検討	石黒ら(1956a)	理論的な解析
Tucker型電磁直線性変換器と、波高を遠隔記録する装置、第6型。直読用メータ搭載、電子回路を簡略化	石黒ら(1956b)	〃
これまでに開発した波高記録装置、波圧記録装置のレビュー	Ishiguro (1957)	学位論文(Part I)の副論文の内容
電磁式波圧変換器と、波高を遠隔記録する装置、第4型。小型携帯型、防滴仕様	Nakano (1957)	UNESCO workshopでの紹介
フロートを利用した自記式波高・流速計	Nakano (1957)	〃

1957; Terada *et al.*, 1957)。これら一連の波圧計の動作原理は同一であり、機器構成もほぼ共通している。博士の考案した波圧変換器(トランスデューサ)は電磁変換式であり、水圧によって動く薄膜に取り付けられたコイルと、筐体に固定したコイルの間に生じる相互インダクタンスの変化を利用して波圧を測定するものであった(石黒, 1948c; 1949; Ishiguro, 1949)。石黒博士は波圧計の改良を進め、安定性や携帯性に優れたもの(石黒, 1956)や、電子回路を簡略化し、さらに、視認性向上のために針の動きを遅くしたメータを搭載した直読式のもの(石黒ら, 1956b)など、用途に応じた機種を発表した。Fig. 1の(a)~(c)は、各々、博士が開発した自記波圧計第3型(石黒, 1956)のブロックダイヤグラム、外観写真と波圧トランスデューサの図面である。これらの波圧計は当時注目されたようで、外部機関からも照会があったという記録が残る(長崎海洋気象台, 1951)。

石黒博士が開発した波圧計のなかに、440 Hzの音叉発振回路を組み込んだものがある(石黒, 1956)。この発振周波数は、楽器の調弦や調律の際に基準とするA音と同一である(これより数Hz高い周波数が採用されることもある)。1950年代当時、音叉発振回路は汎用的なものであったが、440 Hzの音叉を選んだ理由として、電子回路に対し適切な周波数であっただけでなく、楽器店などで

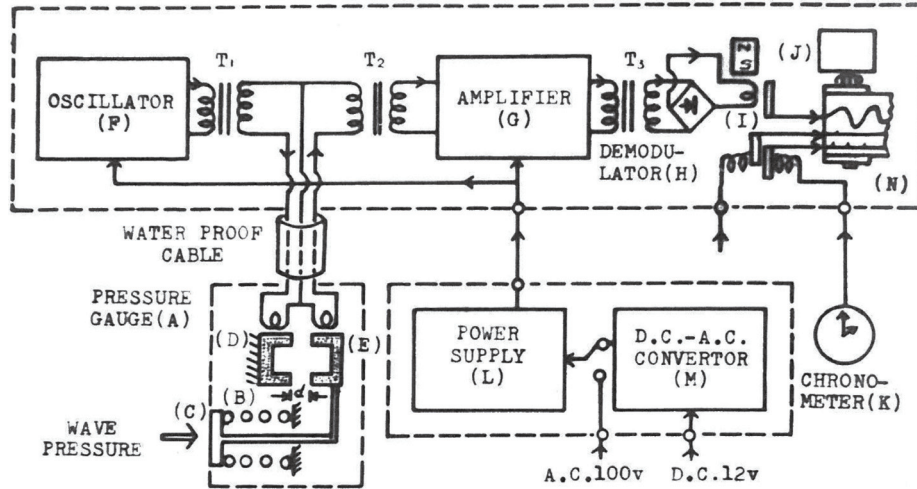
音叉を容易に入手できたことが考えられる。これは、後述するように楽器の演奏を嗜んだ石黒博士ならではのアイデアであった可能性があり、興味深い。

石黒博士は、感度と直線性に優れた電磁型圧力変換器として知られたTucker型トランスデューサ(Tucker, 1950)の最適化設計の検討も行った(石黒ら, 1956a)。これは、砂鉄を用いた磁気回路の磁束の可視化と、等価回路化したトランスデューサの伝達関数を得、信号の歪み、感度、直線性と周波数特性の解析を行うことによって、磁気回路の最適な形状や二次コイルの動作範囲を求めるというものであった。この研究は完全に電子工学の範疇であり、博士の専門を活かしたものであった。このトランスデューサは、石黒ら(1956b)によるメータ直読式の波圧計に採用された。

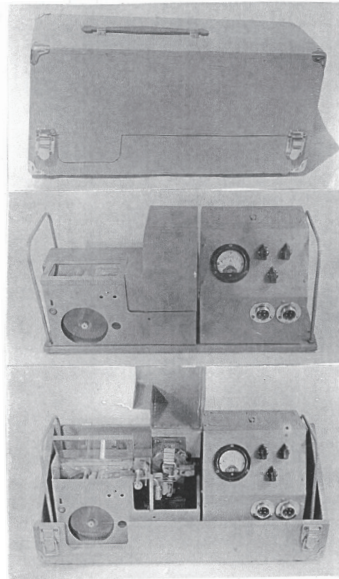
3.2.3. 平戸瀬戸の潮流解析

長崎県平戸市に位置する平戸瀬戸は、Fig. 2の(a)に示すように、S字状の地形をした海峡である。この海峡は船舶の交通量の多さ、潮汐による速い流速と大きく変化する流向、そして最狭部に位置する小島(広瀬)と、この南西部に連なる岩礁の存在により、現在もしばしば海難事故が発生する海の難所である(長崎地方海難審判庁, 2004)。とりわけ、広瀬南西部に存在する岩礁付近では、

(a)



(b)



(c)

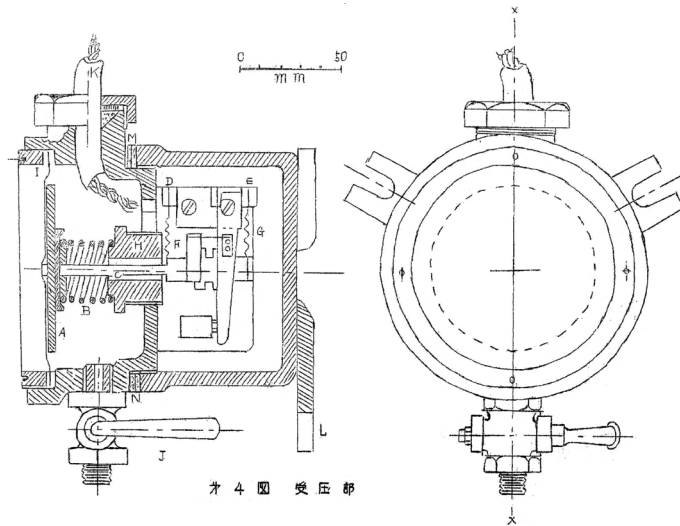


Fig. 1. (a) Block diagram of type-3 pressure recorder. Moving disk is pushed by wave pressure and magnetic reluctance between steady and moving cores in the transducer is varied. Input AC voltage into the amplifier is correlated with the magnetic reluctance of the transducer, and the amplified signal is demodulated and recorded on a roll paper by a pen recorder. (b) Photo of the type-3 pressure recorder. (c) A wave pressure gauge (transducer) developed by Dr. Ishiguro. The diameter is 120 mm and the length is 140 mm. The diaphragm diameter is 80 mm, and the weight of the moving part is 150 g. The pressure cylinder is made of brass. The block diagram (a) and the photo (b) are cited after Ishiguro (1956) by permission of the Oceanographic Society of Japan (JOS). The drawing of (c) is cited after Ishiguro (1949a) by courtesy of Japan Meteorological Agency (JMA).

古くから強流に流され岩礁に衝突する座礁事故が絶えなかった。長崎海洋気象台では長崎県土木部や平戸瀬戸海難防止期成同盟会の協力の下、1947年9月から平戸瀬戸の潮流・水位観測(安井・高尾, 1947; 安井ら, 1948)や、水理模型実験を進めていた(南日・藤木, 1948; 藤木・瀬戸崎, 1949)。南日・藤木(1948)は、実験中の水理模型の上面から撮影した写真から流況を解析し、広瀬南西部から岩礁に至る導流堤を設けることで、船舶の座礁を引き起こす流れは分断され、事故を減らせると考えた。運輸省第四港湾建設局(現、国土交通省九州地方整備局港湾空港部)は、長崎海洋気象台からの提言(安井・石黒, 1950)を受け、1948年~1949年度に、広瀬から南西部の岩礁に達する導流堤を築造した(安井ら, 1949; 運輸省第四港湾建設局, 1982)。

この研究には、長崎海洋気象台に着任間もない石黒博士も参加していた。これが、石黒博士にとって海洋学との最初の出会いであった。石黒博士は現場で流向・流速を観測するために自記式流速計や流向計を開発(石黒, 1950a; 1950c)し、これらを駆使した観測を行った。同時に、1901年から1948年までに広瀬付近で生じた海難事故の発生時刻を調査し、潮汐との関係を解析した。そして、事故が多発する時期は、大潮で新月の闇夜であること、事故の最も多い時間帯は、北流が最速となる時、すなわち満潮時の数時間前であることを突き止めた(石黒・藤木, 1950; 安井・石黒, 1950)。

石黒博士は導流堤の効果を確認するため、広瀬付近の地形を精密に再現した水理模型を新たに製作した。その際、この水理模型製作に必要な広瀬の潮間帯の詳細な地図を、現地の写真から、その画角(レンズの焦点距離)、カメラの高さとその伏角に基づき、平面図を作成する写真測量技術を活用して作成した(安井ら, 1949b; 石黒, 1950e)。また、写真やスケッチによる流れの定性的な記載が主体であった水理模型実験に、流れの定量的解析法を導入した。これは、模型上部に設置したピントグラスを通し、模型水槽の水面に浮かべた浮標(白色に塗った木片)の動きを0.5秒間隔でトレーシングペーパー上に書き写すことで流向・流速を記録するという手法であった。また、毎秒16コマの16mmカメラで紙片の動きを連続撮影し、現像されたフィルムを投影して流向・流速を記録する手法も採用した(この手法は明らかにピントグラ

ス観察より有利であるが、フィルム代や現像代が高むといった予算的な事情により、両方の手法を用いたと考えられる)。さらに、模型で計測した流速から、相似則を用いて、現場の流速を推定した(石黒・藤木, 1950; 安井・石黒, 1950)。これらの作業によって、広瀬付近の流速・流向をより定量的に再現することに成功した。さらに、広瀬付近の流れ場をより安全なものとするため、導流堤の若干の延長も提案された(安井・石黒, 1950)。この結果、1952年に、導流堤は東側に屈曲した形で延長された。Fig. 2の(b)に導流堤の有無という異なる条件で行った水理模型実験の結果を、Fig. 2の(c)に2011年8月4日に撮影された広瀬周辺の衛星写真を、それぞれ示す。Fig. 2の(c)から、導流堤が実験の結果通りに北流を分断していることが分かる。

石黒博士と安井善一氏(海洋課課長、当時)は、この研究の成果によって運輸省より運輸大臣賞を授与された(長崎海洋気象台, 1978)。さらにこの成果は、自記波高計の開発と共に総説(宇田, 1954)や海外の報告書(Department of the army corps of engineers, 1953)にも掲載され、内外の研究者の目に留まることとなった。

石黒博士が写真測量に用いた手法は、現在も活用されている先験的な技術である。例えば、ディーブ・トウ、無人探査機や有人潜水艇が撮影した映像から海底のマッピングを行う際にも有効である(Nakajima *et al.*, 2014)。さらに、現代のセンサ技術とパーソナルコンピュータ(パソコン)による画像処理技術などと組み合わせれば、ルートマップ作成の省力化も可能になる。また、石黒博士が水理模型実験に適用した動画撮影による流れの解析法は、現在盛んに活用されているPIV(Particle Image Velocimetry)そのものであり、この研究は流れの可視化とその画像解析技術に関する先駆的なものであったともいえる。デジタルカメラ・ビデオや動画編集ソフトウェアの発達した現在においては、様々な研究や教育などに簡単に応用できる手法である(実例として、Kurisu *et al.* (2018) などがある)。

3.2.4. 長崎湾の副振動の解析とアナログコンピューティングの萌芽

長崎港は長崎湾に位置する古くからの良港であるが、「あびき」と呼ばれる副振動が発生することが知られてい

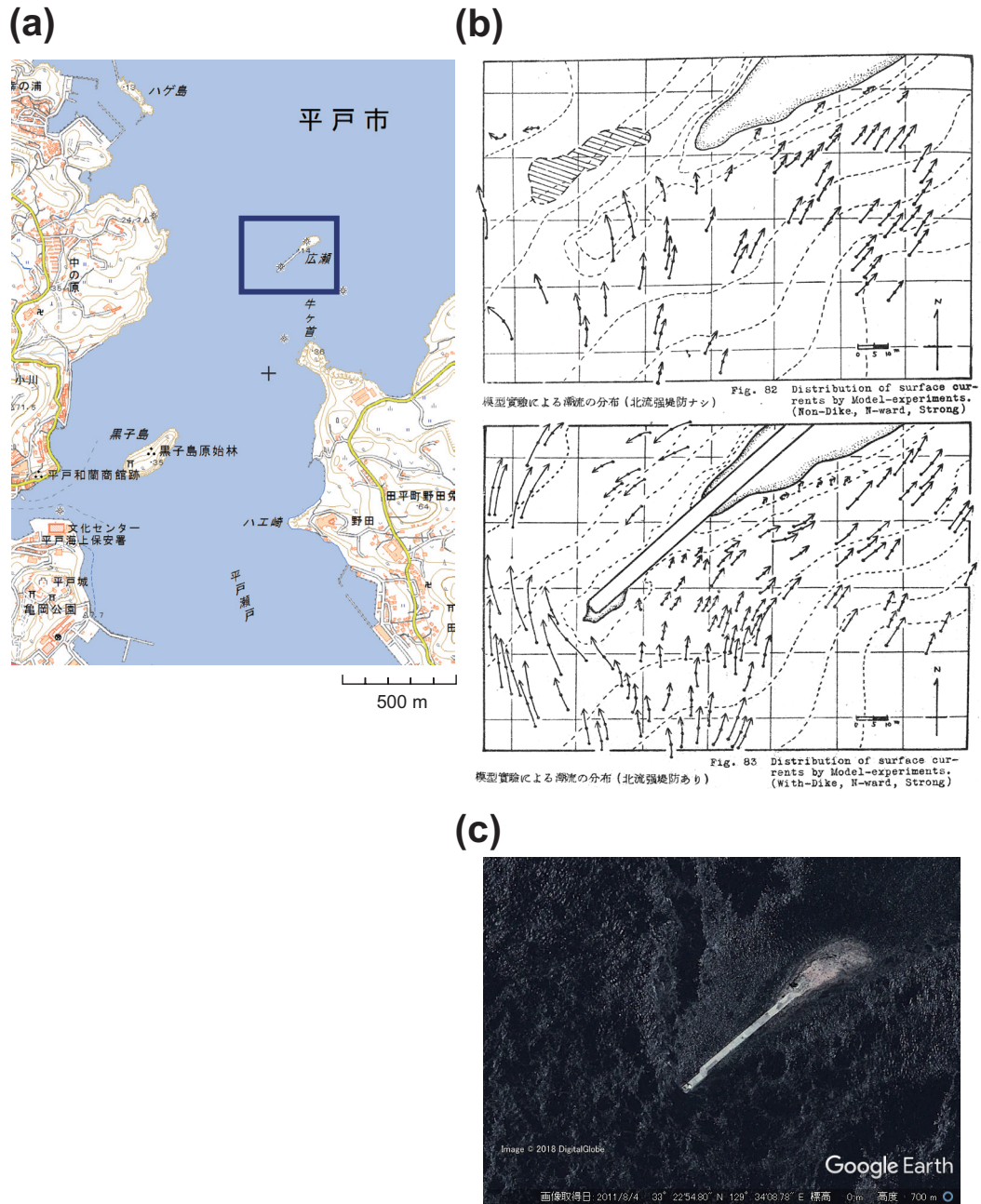


Fig. 2. (a) Map of Hirado-Seto Strait, Nagasaki, Japan. Hirose Island is located at the central part of the north end of the strait (in the square). This map is cited after topographic map of 1:25,000 produced by Geospatial Information Authority of Japan. (b) Results of the hydraulic model experiments showing surface current distributions at southwestern part of Hirose Island without/with dike. The lengths of all arrows represent moving distance of the respective floats during 1/16 s which is equivalent to 10.5 s at actual scale. The hatched area on the upper map represents concentration of floats. These drawings are cited after Figs. 82 and 83 in Yasui and Ishiguro (1950) by courtesy of JMA. (c) Satellite image taken around Hirose Island on 4 Aug. 2011 from Google Earth, Image ©2018 DigitalGlobe. The image area corresponds to the square shown in (a).

る。副振動は他の湾でも生じるが、「あびき」は30～40分の間に、2mを超える大きな潮位変化に発達することがあり、船の流出や港湾施設の破損、浸水などの被害が発生することがあった(赤松, 1982; 小長ら, 1990)。長崎海洋気象台の初代台長であった宇田道隆博士は、九州や西日本沿岸の魚業者の間で「西風落し」と呼ばれ恐れられてきた、主に冬季に発生する突風を報告し、この気象現象が現れる前に「あびき」や潮位の上昇が発生することがある、という漁業者の伝承を紹介した(宇田, 1948)。「あびき」は、1)九州西方～東シナ海上において、数hPaの急激な気圧変動が発生、2)この変動によって海面に長周期の波が発生し、九州方面に伝搬、3)海底地形の影響によって、九州沿岸で振幅が増大、4)沿岸地形と共振を起こし、さらに増幅、5)この波が長崎湾内に侵入、湾内の地形によって再び共振を起こすことで顕著な潮位変動として出現、というメカニズムによって発生する(Hibiya and Kajiura, 1982; 赤松, 1982; 半沢ら, 1989)。このため現在では、「あびき」に代表される副振動を気象津波と呼ぶこともある(高野, 2014)。長崎湾やその他の内湾で発生するこのような副振動は、その起源となる気圧変動の発生機構と発生場所の特定や、数値予報といった研究の対象であり(坂本ら, 2013)、海洋気象研究分野の古くて新しいテーマであるといえる。

長崎海洋気象台では、1947年より「あびき」の調査を断続的に行っていたが、運輸省第四港湾建設局、同長崎港工事事務所、長崎県土木部、長崎市港湾局の要請を受け、1950年11月より気象台をあげて、「あびき」の発生メカニズムの解明に関する研究を開始した。この研究は、寺田一彦博士の主導のもと、観測・整理を安井善一氏、水理模型実験および後述する電子回路を用いた潮位解析を石黒博士、そして理論と物理的解析を寺田博士自身の担当により進められた。この研究では、まずフィールド調査と長崎湾を模した水理模型で潮位変動を再現する実験が行われた。水理模型実験では、造波器によって造られる水面の凹凸(潮位)の変化を専用カメラで連続撮影した16mmフィルム画像から、石黒(1950h)に示される水面へのグリッド投影を利用した写真測量法によって手作業で等高線図を作成することで、潮位変動の分布を測定した。この結果、長崎湾の固有振動の周期がはじめて明らかになった。また、「あびき」が観測される前に富

江測候所(福江島)と長崎海洋気象台で急激な気圧変化が発生したことを発見した。さらに、「あびき」の原因は、外海上で生じた急激な気圧変化に伴って海面に発生した長周期の波であり、これが同位相で長崎湾口に到着して潮位差の大きな「あびき」に成長する、というアイデアを提唱するなど(寺田ら, 1953; Terada *et al.* 1954)など、後の研究に重要な示唆を与える成果を挙げた。

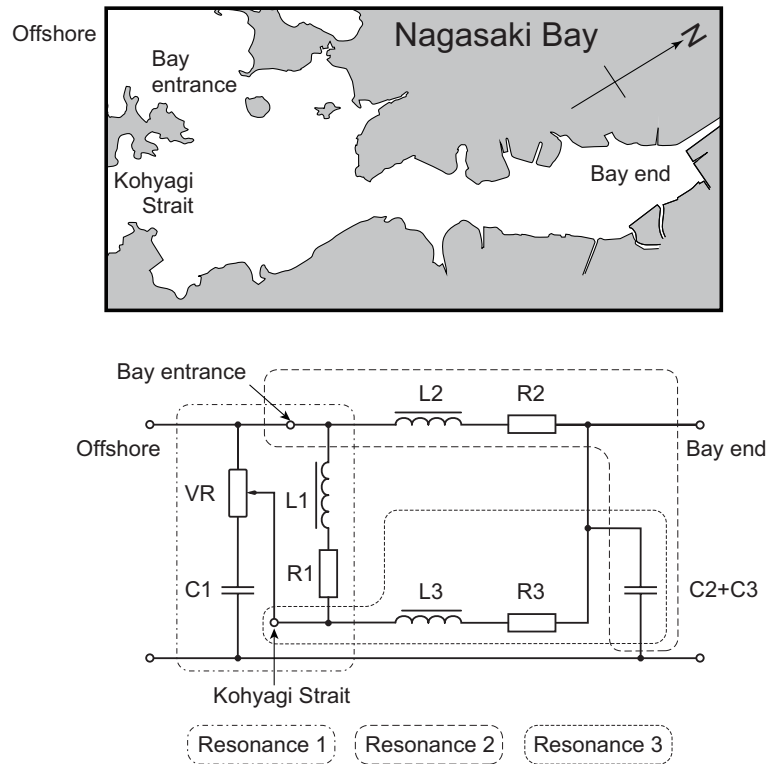
石黒博士は、「あびき」による長崎湾内の潮位変動の調べるため、これを電子的に再現する電子回路モデル(Fig. 3の(a))を開発した(実際の物理現象を電子回路モデルで代替する手法を付録1に、最も単純な電子回路モデルを付録2にそれぞれ示す)。Fig. 4の(a)に長崎湾の電子回路モデルを用いた実験結果(Ishiguro and Fujiki, 1955)を、Fig. 4の(b)と(c)に、著者が電子回路シミュレータを用いてパソコン上で再現した結果、およびこの再現に用いた電子回路モデルの回路図と部品定数をそれぞれ示す(再現方法については付録3を参照されたい)。

石黒博士は、いつ頃、どのように、電子回路モデルによる副振動の解析を着想したのだろうか?「海象と気象」誌によれば、1949～1950年の談話会(第105回と第132回)、そして同誌内の文献紹介のページで、長周期の波を記録する装置(Munk *et al.*, 1948)を紹介している(長崎海洋気象台, 1950b; 1950c; 1950d)。この装置は、液体と気体の粘性や圧縮を巧みに利用した流体力学的ローパスフィルタであり、Munk *et al.*, (1948)は、この装置の原理を電気の等価回路に置き換えて説明している。石黒博士は、この論文紹介の直後に最初の電子回路モデルの概念を発表(石黒, 1950h)していることから、Munk *et al.*, (1948)が、湾内の潮位変動を電子回路内に生じる電圧の過渡応答に見立てるヒントとなった可能性がある。

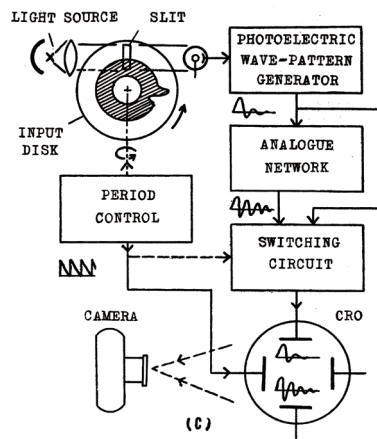
3.2.5. 有明海の自動制御水理模型

1950年代初頭、有明海の大規模締切が計画された。これは、佐賀・熊本側と島原半島側を跨ぐ巨大なロックフィル堤群を築造し、その一部に開放口を設けることによって、有明海の大きな干満の差を減少させ、治水と食糧増産のために必要な干拓の造成を容易にすることを狙い、さらには、有明海の海底下に存在する石炭などの鉱物資源を採掘する、という壮大なものだった(吉川, 1957; 農

(a)



(b)



(c)

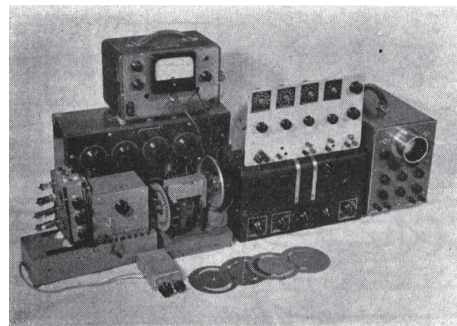


Fig. 3. (a) Nagasaki Bay and its electronic circuit model consisted of three series RLC resonant circuits (Ishiguro and Fujiki, 1955). Resonances 1, 2 and 3 represent forced oscillation between bay entrance and Kohyagi Strait, between bay entrance and bay end, and between bay end and the Kohyagi Strait, respectively. VR represents friction around Kohyagi Strait. This value changes depending on tide. This figure is redrawn from Figs. 6 (a) and 6 (b) in Ishiguro and Fujiki (1955). (b) Block diagram and the photo of the analog computer investigating forced oscillations of the circuit network, and (c) Photo of the electronic circuit model. These images are cited after Figs. 6 (c) and 7 in Ishiguro and Fujiki (1955) by permission of JOS.

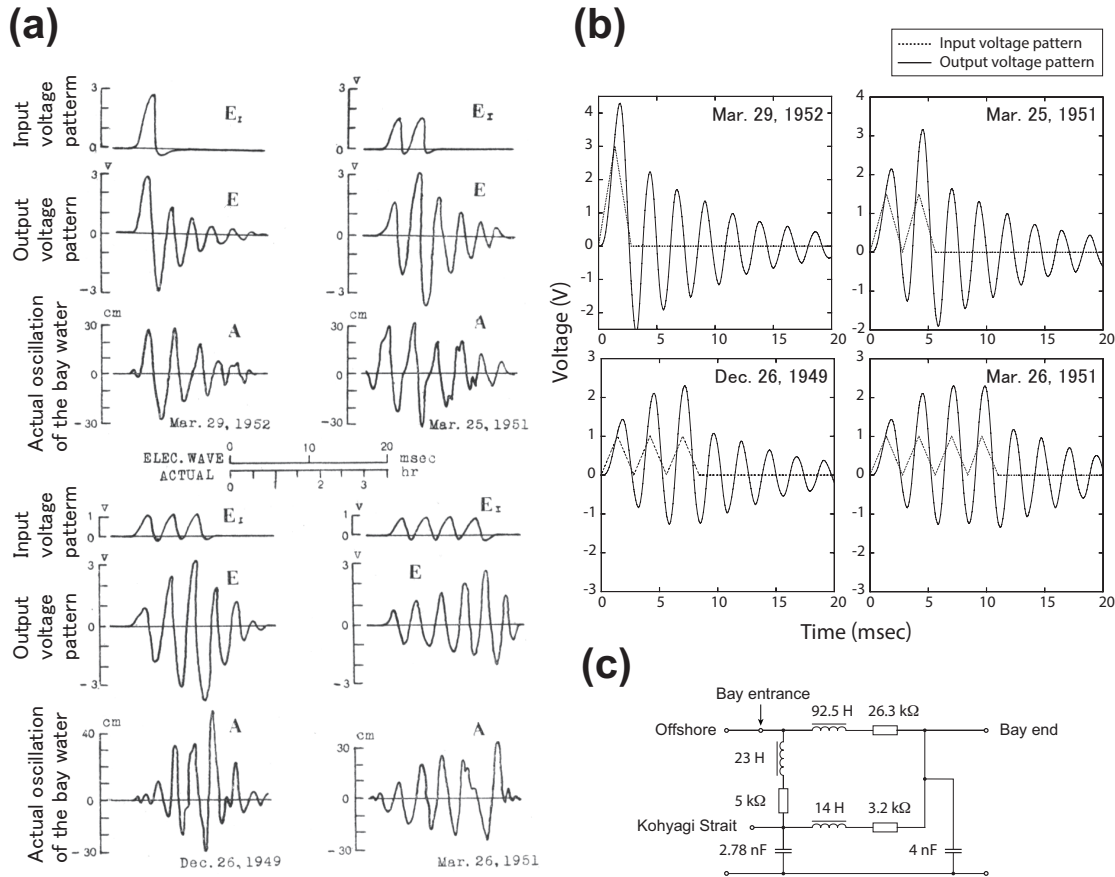


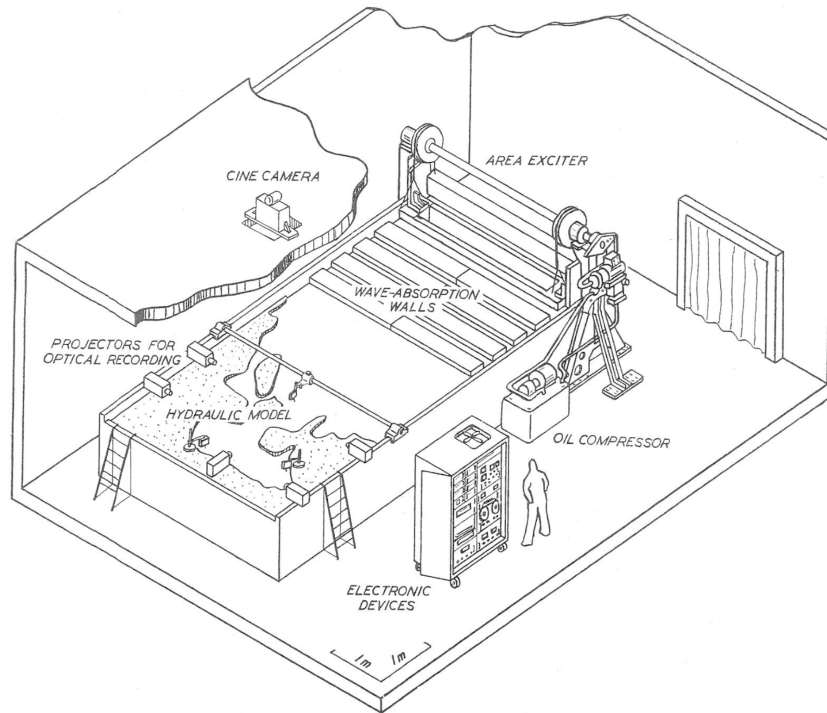
Fig. 4. (a) Original results of analog electronic circuit model experiments for March 29, 1952 (top left), March 25, 1951 (top right), December 26, 1949 (bottom left) and March 26, 1951 (bottom right). In each experiment, input (top) and output (middle) voltage patterns in electronic model calculation, and deviation of actual sea level variation (bottom) from predicted tide at the end of Nagasaki Bay are shown respectively. (b) Four input-output voltage patterns re-calculated by LTspice XVII adopting for the revival circuit model experiments in (a). (c) Schematic diagram of the electronic model of Nagasaki Bay used for the revival experiment on assumption of the close of Kohyagi Strait (Fig. 3 (a)). (a) is cited after Ishiguro and Fujiki (1955) by permission of JOS.

林省熊本農地事務局・長崎海洋気象台, 1959)。長崎海洋気象台は1953年より、有明海地域総合開発協議や農林省熊本農地事務局と共に、堤を築造した場合に生じる潮汐変化の研究を開始した(長崎海洋気象台, 1954; Terada and Hanzawa, 1957)。この研究のため、 $700 \times 350 \times 120$ cmの水槽に、有明海を含む長崎から熊本までの沿岸と、海岸から約170 km沖合までの地形を作り込んだ水理模型を製作し、潮位変動の解析に使用した(Fig. 5の(a)と(b))。この模型は、これまでの研究で製作した海峡や湾の模型よりも地形の縮率ははるかに大きいため、

造波器で単調な水位変動を与えるだけでは各地の潮位を再現するのは不可能だった。

石黒博士は潮位変動を再現するために、水面の複数箇所を設置した精密水位計の出力を増幅、これを造波器の機械的な動作にフィードバックさせるという、当時の制御工学の先端をいく自動制御機構を導入した(石黒, 1955; Ishiguro, 1959a)。また、一連の実験において、実際の観測で取得した潮汐を繰り返し再現するため、潮汐チャートをデジタル信号に変換して磁気テープに記録し、これをテープレコーダで再生することで潮

(a)



(b)

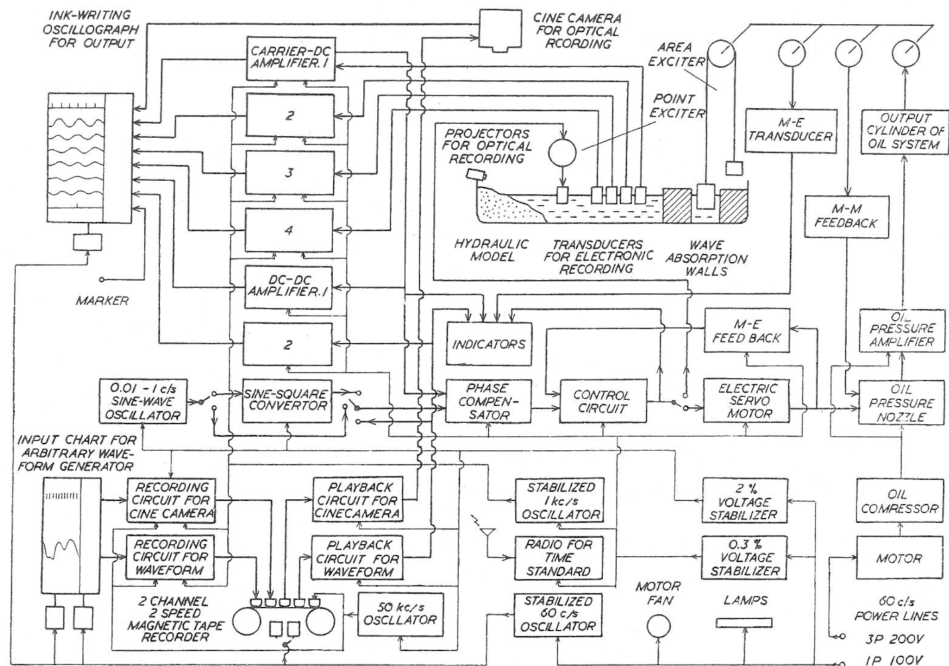


Fig. 5. Hydraulic model experiment of Ariake Bay. (a) Schematic view of the hydraulic model experiment. (b) Block diagram of the whole system. Tidal oscillation is controlled by an electrical-mechanical feedback referring values obtained by tide gauges. Tidal oscillation can be reproduced based on tidal data recorded on magnetic tape. These drawings are cited after Ishiguro (1959a) by courtesy of JMA.

汐を再現する技術も開発した (Ishiguro, 1959a; 長崎海洋気象台, 1960)。模型内に生じる潮位差の測定には、長崎湾の副振動の解析で用いられた写真測量法 (石黒, 1950h) が用いられた。堤の築造は、工事中から完成までに至る、様々な堤の形状を模した 1 mm 厚のアルミ板を模型の海底にはめ込むことによって再現した。しかし、この水理模型は完成後の調整が難航し、一通りのデータを得られるまでに 5 年の歳月を要した (農林省熊本農地事務局・長崎海洋気象台, 1959)。

実験を繰り返した結果、堤を築造する途中、湾奥における潮汐の振幅が築造前に比べ、現実の縮尺に換算して 50 ~ 80 cm ほど増大する現象が確認された (農林省熊本農地事務局・気象庁長崎海洋気象台, 1960; 長崎海洋気象台, 1960; 1961)。農林省は、この結果を改めて評価する必要があると判断し、長崎海洋気象台が製作した模型の 5 倍の面積を持つ、九州大学農学部の水理模型 (高田・戸原, 1963) を用いた追試験を行うに至った。結果、潮位差の増加は長崎海洋気象台による実験結果よりも小さく、築造前に比べ最大で 25 cm ほどであった。最終的な報告書には、実験条件を再検討して不備を洗い出し、回数を重ねなければ結論を出せないが、長崎海洋気象台の結果は潮汐現象に関しては信頼できる、という結論が記された (九州大学農学部干拓工学教室ら, 1961)。

有明海の水理模型の開発において、実際に石黒博士が関わったのは 1954 年 3 月から 1955 年頃までの短期間であり、模型の完成後は、この研究から手を引いている。後に博士は、この水理模型の水路部分を電子回路に置き換え、模型の電子回路化を考えていたと回想している (石黒, 1996; 文中には 1945 年とあるが、1954 年の誤記と思われる)。しかし実際には、電気のアナロジーを用いた締切前後の有明海の潮汐に関する理論解析が行なわれていた (中村, 1954)。理由は不明ながら、この手法による潮位の解析はこれ以降行われることはなく、また、長崎湾の副振動の解析で成功を収めた、電子回路モデルを用いたアナログコンピューティングも行われなかった。そして、長崎海洋気象台の関係者は水理模型が実用的な状態に至るまでの調整に、多大な労力を割くことになった。

石黒博士が有明海の水理模型の開発から離れた理由は、同時期に NIO への留学が決定したことと、留学までに学位論文の提出を終える (大坪, 2017) ために、これら

の準備や執筆に時間を割く必要があったためと思われる。なお、有明海大規模締切計画は国の減反政策の影響により、実行に移されることなく 1969 年度に終了した (農林省ら, 1969)。

4. 渡英と英国における研究

石黒博士が長崎湾の「あびき」の解析や有明海の水理模型の開発に専念していた頃、NIO の所長であった George Deacon 博士との出会いがあった。これがきっかけとなり、石黒博士は渡英する。英国では、単純な電子回路モデルを用いた潮位の解析を発展させ、回路を次元化したアナログコンピュータを開発し、北海の潮汐や高潮の精密な再現を行った。

4.1. Deacon 博士との出会いと NIO への留学

1955 年、UNESCO と日本学術振興会 (JSPS) は、東京で UNESCO symposium on physical oceanography という国際会議を開催した (UNESCO and JSPS, 1957)。この会議には世界中から海洋学の研究者が参加し、その中には Deacon 博士の姿もあった。会議では当時の日本を代表する研究者たちが、国内の海洋物理学、海洋化学、海洋生物学の動向を発表した。海洋物理学のセッションでは、寺田一彦博士 (長崎海洋気象台長)、中野猿人博士 (気象研究所) や日高孝次博士 (東京大学) といった、当時の海洋学のリーダー達が次々と石黒博士の研究を紹介した。これらの内容は、石黒ら (1956b) による波圧トランスデューサ (Terada, 1957)、石黒 (1950g) や Ishiguro (1957) による波高計と波圧計 (Nakano, 1957)、そして Ishiguro and Fujiki (1954, 1955) による電子回路モデルによる「あびき」の研究 (Hidaka and Yoshida, 1957) であった。このことから、当時の国内で石黒博士の研究が高く評価されていたことが分かる。会議の要旨集には、「このようなアイデアを持った物理学者を海洋学の分野に迎えられるのは素晴らしい。しかし海で使う機器は複雑なものよりシンプルなものにすべきである」という Deacon 博士のコメントが残されており (Terada, 1957)、一連の研究が Deacon 博士にも強い印象を与えたことが窺える。

1957 年、石黒博士は UNESCO fellowship に採択され、

NIOの客員研究員となった(石黒, 1996)。博士がNIOに迎えられた背景には、1953年に発生した英国史上最悪の高潮被害(Prichard, 2013)があった。英国政府は将来の災害防止のための研究予算を増額し、沿岸警報システムの開発のほか、モデリングや数値シミュレーションによる高潮や波浪予測の研究を推進した。NIOにおける高潮予測研究のリーダーでもあったDeacon博士は、UNESCOの国際会議を通し、石黒博士のアナログ電子回路モデルによる潮位の解析手法に強い興味を抱き(Kennard, 2016)、石黒博士をNIOに招聘することを切望していた(日高, 1968)。NIOでの石黒博士は、Deacon博士の下で、湖や内湾の潮位振動を再現するアナログコンピュータの開発に専念した(Ishiguro, 1959b)。この装置は留学中に完成したが、帰国の必要があったため、試運転は一時中断した(National Oceanographic Council, 1959)。

4.2. 学位論文と渡英

石黒博士は、NIO留学中の1958年8月23日に、東京大学より理学博士の学位を受けた。国立国会図書館関西館に保管されている学位論文の原本によれば、論文のタイトルは「An electronic method for recording and analysing ocean waves」(和文タイトルは、「エレクトロニクスによる海の波の記録ならびに解析方法」)であり、Part I: An electronic system for recording and analysing sea waves, Part II: An analytical system for long wave phenomena in the ocean, using some techniques of electronics and cybernetics, Part III: A method of analysis for long-wave phenomena in the ocean, using electronic network modelsの3部、および関連する29報の参考論文(うち特許3件)から構成されている。Part I, IIは長崎海洋気象台における研究開発のまとめであり、綴じ紐で一冊にまとめられている。それぞれの部の最終ページには1956年12月13日、14日の日付が記されていることから、学位論文は英国留学の直前に提出されたと考えられる。Part IIIはPart I, IIとは独立した冊子で、簡易製本が施されている。この内容は留学先のNIOで行ったアナログコンピュータの開発と、この装置を用いた水位変動の解析であるため、1957年以降に仕上げられたことは確実である。Part I~IIIの末尾にはそれぞれの謝辞が存

在するが、これら全てに記された人名とその順序より、論文審査の主旨は日高孝次博士であり(大坪(2017)にも、日高博士であった旨の記述がある)、宇田道隆、中野猿人両博士も審査に関わっていたと考えられる。また学位論文の提出に前後し、それぞれのPartに対応した論文が出版されており、これらが副論文に相当すると考えられる(Ishiguro, 1957; 1959a; 1959b)。Part IIIが留学中に追加されたことは不自然であるが、NIOが博士をPrincipal Scientific Officerとして正式に迎え入れる条件として、NIOでの研究に関連する内容が学位論文に含まれること、つまり研究の実績が伴っていることを挙げた可能性が考えられる。今となっては不明だが、Part IIIの謝辞の最初に記された人物が茅誠司博士(東大総長、当時)であることは、学位論文にPart IIIを追加することに対し、石黒博士、東京大学とNIOの間に何らかの調整や配慮が存在した可能性を示唆している。

石黒博士は1960年4月、一家で日本を後にし、NIOに赴任した(荘中, 2011; Ishiguro, 2017)。この赴任に関して、Deacon博士に石黒博士を推薦したのは日高孝次博士であった(日高, 1968)。以上より、石黒博士が渡英するまでの出来事をまとめると、以下の順となる。1) UNESCO workshopで石黒博士を知ったDeacon博士が渡英を要請した。2) これに対し、石黒博士本人あるいは日高博士が応え、まず学位論文を準備した。3) 学位論文のPart I, IIを東京大学に提出後、UNESCO fellowshipによる留学が実現した。4) Deacon博士がNIOでの定年制スタッフとしての職を提案した(Cartwright, 1999; 2010)。そして、5) NIOでの研究成果を学位論文のPart IIIとして提出した。6) 学位が認定され、NIOが石黒博士をPrincipal Scientific Officerとして招聘することが正式に決定した。

有明海の水利模型の開発に深く関わっていた石黒博士が、装置の実用性に依然として問題が残っていることを認識しつつも、問題の解決や実験結果の公表を同僚に託し(Ishiguro, 1959a)、留学を選択したこと、さらにその後、NIOへの赴任を決意した背景には何があったのか? 残された論文や関連資料から内情を知ることはできなかった。ただし、後のインタビューに残された「英国は二度目でしたが、その時、永久就職するつもりで、気象庁を辞め、家族を連れて、海を渡ったのです」という石

黒博士の証言(週刊新潮, 1987)からは、日本には戻らないという重い覚悟を抱いた渡英であったことが窺える。

4.3. 英国での研究 – 嘉村記念賞受賞講演より

カズオ・イシグロ氏のノーベル文学賞受賞に関連し、英国における石黒博士の研究内容の概要が日本の新聞誌上でも紹介された(青野, 2017)。これらの研究成果は、主に NIO や IOS の報告書や内部文書として、数多く残されている。この点において、英国における石黒博士は、仮説検証型の研究によって学術的な知見を得る研究者というよりも、むしろ正確な高潮予測を短時間で行うことのできるプロフェッショナルという、重要な立場にあったように思われる。

1996年、石黒博士は「電子回路により高潮を量的に解析し予報法を導く」という研究業績によって、母校の九州工業大学より嘉村記念賞を授与された。博士はこの時帰国し、同大学において、長崎海洋気象台や NIO (IOS) で行った研究に関する記念講演を行った。この講演の詳細は、九州工業大学の同窓会組織である一般社団法人明専会の機関紙「明専会報」に掲載されている。その中で、日本ではあまり知られていなかった英国での研究、特に石黒博士が開発したアナログコンピュータや、潮汐や高潮の解析手法が紹介されている(石黒, 1996)。この資料は石黒博士の業績を辿る上できわめて貴重なものであるため、他の文献による補足を含めながら、以下に紹介する。

1) NIO における最初のアナログコンピュータの開発：NIO に留学中、石黒博士は一次元だった電子回路モデルを 30 メッシュの二次元の電子回路網に拡張した。これは、5 つの端子を持つ格子点が 6 列 5 行に並んだもので、1 つ目の端子には片端を共通接地したコンデンサが、残り 4 つのそれぞれの端子には、可変インダクタと可変抵抗の直列回路が取り付けられ、これらが隣接するそれぞれの端子に格子状に接続された電子回路であった(この電子回路の詳細と装置の外観写真は、Ishiguro (1959b) に記されている)。外力を表す電圧波形は、行列の格子の端から同時に入力し、各コンデンサの両端に加わる電圧の過渡応答を測定することで、海面に発生する二次元的な潮位変動を得ている。最初に、観測データの豊富な北アイルランドの Lough Neagh (ネイ湖) や V 字状の断

面を持つ海底地形をモデル化し、湖水(海水)の振動特性の再現を行うことで、電子回路モデルの信頼性を実証した(National Oceanographic Council, 1958; Ishiguro, 1959b)。このモデルでは、コリオリ力は考慮されていなかったが、回路網を 40 メッシュに増設し、北海に見立てた電子回路モデルへと発展させた際、コリオリ力を近似的に再現できるように改良された(Ishiguro, 1972; 石黒, 1996)。当時の報告書には、この電子回路モデルの稼働により、水理模型実験よりも高い信頼性を低コストで得られること、同時代のデジタルコンピュータのような煩雑なプログラミングも不要と、アナログコンピュータの優位性が記されている(National Oceanographic Council, 1959)。

2) 米国チェサピーク湾における潮位の応答の推定：この研究は米国との共同研究で行われた(Cartwright, 1999)。研究の目的は、米東海岸が核攻撃を受けた場合、米国の首都ワシントンに近く、また軍施設の多いチェサピーク湾に生じる潮位の応答を推定することであった。このために、米国で新たなアナログコンピュータが開発され、湾口から侵入する様々な周期の波が湾内で引き起こす共振現象の解析が行われた(Ishiguro, 1972)。この研究は、英国に対しても数年間秘密にされた(石黒, 1996)。このアナログコンピュータは 5000 メッシュの電子回路網で構成されており、海洋物理学用途のアナログコンピュータとしては破格の規模であった(Ishiguro, 1972)。この巨大な装置の外観写真は、Ishiguro (1972) に見られる。

3) NIO で開発したアナログコンピュータの特徴：石黒博士は、NIO において 2 台のアナログコンピュータを開発した。これらはいずれも、部品の定数変更によって、計算上の海底地形を変えられる設計であった。最初の 1 台は 1) に示したもので、受動部品のほか、能動部品に、当時市場に出始めたトランジスタが用いられた。時間的に変化する風と気圧は、光センサを用いた読み取り機を用い、複数の紙テープに記録したデータを電圧に変換することによって、電子回路網に入力した(Ishiguro, 1968; 石黒, 1996)。電子回路網を動作させるためには、それぞれの共振回路に供給する電源を互いに分離(絶縁)させる必要があったため、電源には電池を用いた(石黒, 1996)。この装置の外観は Ishiguro (1968), Kennard

(2016) や光易 (2017) に見ることができる。

このアナログコンピュータの一連の操作法および波高予測の手法は、石黒博士が自らディレクターと解説を務めた映像で紹介されている (Ishiguro, 1968)。この映像は、NOC とサザンプトン大学のウェブサイト「National Oceanographic Library Digital Archive Beta」(National Oceanographic Centre and University of Southampton, 2018) で閲覧が可能である。波高予測の手法だけでなく、石黒博士のプレゼンテーション (映像演出) 能力の高さも同時に理解できる内容である。

4) 新たに開発したアナログコンピュータ : 1977 年、石黒博士はもう 1 台のアナログコンピュータを開発した。この装置は 330 メッシュの電子回路網をもち、電子回路網の配列法は 1 台目のものを改良して設計された (Photo 3 の (a))。装置のキャビネットは 990 メッシュの電子回路網を収納できるよう設計されたが、電子回路網に使用する部品の製造が中止されたため、これ以上の増設は行われなかった (Ishiguro, 1980)。この装置はコリオリ力を簡略化せずに再現することが可能であった。風速、風向、気圧などの気象パラメータやコリオリ力は、潮汐波、外来の高潮などのパラメータと共に、あらかじめデジタル記憶回路 (Ishiguro, 1977, 1979b) に入力した値を電圧に変換し、絶縁型 DC/DC コンバータ (Ishiguro and Bunting, 1968) を介して電子回路網に入力した (Ishiguro, 1973; 石黒, 1996)。これらの制御は、最終的には、8 ビットの家庭用パソコンで行うよう改良された (Ishiguro and Reeves-Wilkin, 1982)。ロンドンの科学博物館で展示されている「Electronic storm surge modelling machine」(Photo 3 の (b)) は、IOS で運用していた装置のキャビネットから電子回路網と関連するユニットを取り外した状態と考えられる。

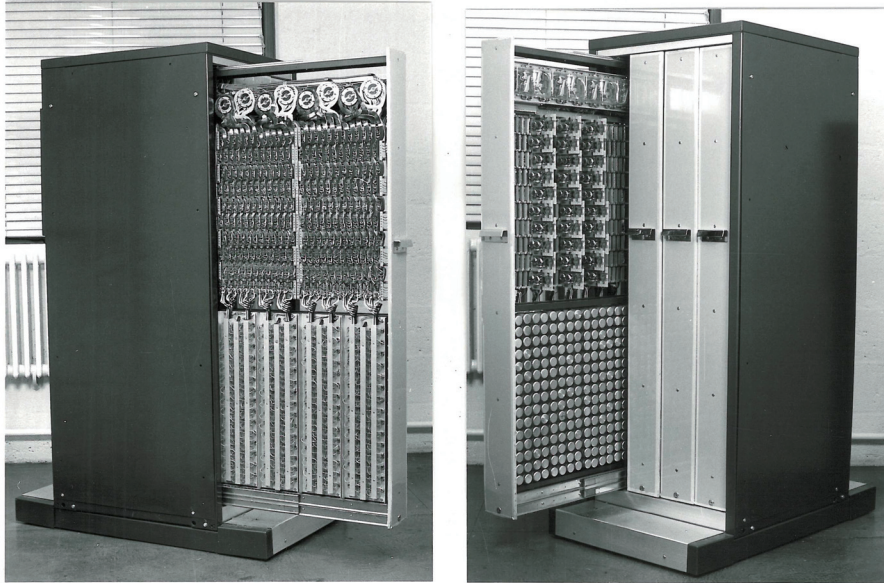
5) 現実の地形に変更を加えた場合の潮汐の計算 : アナログコンピューティングによって、北海北部やドーバー海峡をそれぞれ閉塞した場合の潮汐計算を行った。この結果、北海・ユーラシア大陸沿岸の潮汐の主成分はドーバー海峡からの潮汐波であり、英国東岸では北海北部からのものが主成分であることが分かった。ドーバー海峡を物理的に封鎖すると、英国東岸はほとんど影響を受けないが、ユーラシア大陸側には顕著な影響が出ることが判明した (石黒, 1996)。

6) アナログコンピュータを用いた高潮予測の実現 : 電子回路網の任意のメッシュにおける水位を階段状に上げ、その後の過渡応答を見ることによって、高潮の計算が可能になった。全海域に均一な風を作り出すことで発生する水位の応答から、水位が最高となる時の風向を調べられるようになった。北海中央部に、風向・風速にかかわらず高潮が発生しない海域が現れることを発見した。北海の振動系を調べた結果、弱い共振系の存在が確認された。また、1953 年に発生した高潮の際の気圧と風を入力し、さらに外界からの高潮を加え、北海全域における高潮の再現に成功した (Ishiguro, 1979a)。これにより、正確な海面の気圧と風向・風速を得ることができれば、アナログコンピューティングによって高潮を予測できることが判明した (石黒, 1996)。

7) 高潮予測をより簡便に行う手法の開発 : Quasi-uniform steady wind/pressure method を開発し、高潮の予測を簡便化した (Ishiguro, 1983)。この手法を用いれば、予測したい場所の平均風速・風向・持続時間のほか、4 種の定数を、博士の考案した公式に入力するだけで、その場における最大潮位を求められる。定数は場所により異なった値であり、算出にはアナログコンピュータを用いた作業が必要である。これらの定数は、一度求めれば変更の必要はない。同様の手法により、過去 50 年間の最大風速を入力することで、50 年間の最大潮位を得られる公式も考案した (Ishiguro, 1976)。この研究は、北海沿岸や沖合の構造物 (海底ガスの採取塔など) の設計基準を与えるために行われた (石黒, 1996)。

石黒博士は、英国で開発したアナログコンピュータのハードウェア設計、解析手法の開発や研究結果を NIO や IOS の内部文書に残している。これらの中には、アナログコンピューティングによる計算結果の報告のほか、計算に適用したグリッドの配列、各部の機能説明、回路図、配線図、調整用装置の説明文書なども存在する。現在これらはサザンプトン大学のリポジトリウェブサイト、「ePrints Soton」(University of Southampton, 2017) で公開されている。これらの資料の存在が、現在は科学博物館に展示されている「Electronic storm surge modelling machine」の科学的な価値を高めていることは明白であり、資料をきちんと保管し、公開する英国の学術機関の姿勢には敬服する他ない。

(a)



(b)



Photo 3. Analog computer developed by Dr. Shizuo Ishiguro since 1977. (a) Main computation cabinet around 1980 at IOS taken from different angles. The dimension of the cabinet is $169 \times 67 \times 64$ cm. The base size is 67×105 cm. These photos are cited after Ishiguro (1980) by courtesy of University of Southampton. (b) “Electronic storm surge modelling machine” exhibiting at Science Museum in London. The personal computer (Commodore model CBM8032) and the relating digital circuit components are added later. The dimension of the control rack (left part) is $153 \times 60.8 \times 55$ cm, and the analog computation rack in the state exhibited (right part) is $147 \times 100 \times 66$ cm. This photo is cited after Science Museum (2015) under the Creative Commons Attribution Non Commercial-Share Alike 4.0 License, ©The Board of Trustees of the Science Museum.

4.4. アナログコンピュータ vs. デジタルコンピュータ

電子回路を用いて演算を行うアナログコンピュータは、十分な計算処理速度や記憶容量を持ったデジタルコンピュータが出現するまでの間、主にシミュレーションを取り扱う工学分野などで活用されてきた（例えば、池谷ら、1965）。また、リアルタイム性や高速な信号処理を要求される電子回路においては、アナログ回路による演算は今も不可欠な技術として活用されている（Bryant, 2006）。

海洋物理学の分野では、主に欧米の研究者達によって、アナログコンピュータを用いた潮汐、高潮や流れの解析などが行われた（Ishiguro, 1972）。アナログコンピュータは入力信号の離散化を行なわないため、時間軸を連続に扱うことができる。しかも、1950～1960年代のデジタルコンピュータに比べ、計算速度が圧倒的に高速であったため、プログラム（パラメータ）の変更に伴う再計算の時間も節約できた。一方、アナログコンピュータの開発やプログラム（パラメータ）の変更には、適切な回路設計や部品定数を設定するための電子工学の知識が不可欠であった。また、実際の部品に内在する寄生容量や内部抵抗など理想部品との違いを補正する工夫、室温や湿度を一定に保つことで部品定数の変動を極力減らす配慮、そして経年変化による部品定数の変化に対するメンテナンスも必要であった。石黒博士は、北海の高潮予測を30分以内に終わるように研究を重ねていた（National Oceanographic Council, 1962）。予測に要する時間の多くは、電圧波形の入出力と波高予測図の作成に費やされたものと思われるが、これらの作業時間を含めても、当時のデジタルコンピュータの比ではない速さであったと考えられる。

一方、デジタルコンピュータには、原理上、部品の誤差や寄生容量・内部抵抗などの影響を受けず、論理演算や高精度計算が可能で、数値・文字・記号を別々に扱えること、共通するプログラム言語を用いれば、ユーザー同士でプログラム、ライブラリ、データを共有できること、複数のコンピュータ上で同様の計算や並列処理ができること、といった長所が存在する。さらに、デジタルコンピュータは、A/D変換器と共に観測機器に組み込むことで数値化した膨大な観測データを保存し、転送

することが可能である。初期のデジタルコンピュータは巨大であり、計算速度も遅く記憶容量も小さかったが、ムーアの法則（Moore, 1965）が示すように、その性能とコストパフォーマンスは、半導体製造技術の進化と相まって爆発的に向上した。そして、記憶容量や外部記憶素子の増加やCPUの処理能力向上によって、シミュレーションに必要な複雑な繰り返し計算を高速に行えるようになった。また、1970年代に入ると、デジタルコンピュータの小型化・高速化とA/D変換器の高性能化の飛躍的進展により、デジタルコンピュータの機器への組み込みが実現するのは、時間の問題となった。

北海の高潮のデジタルモデルを最初に作成し、数値予報の可能性を示したのはHansen（1956）であった。1969年、リバプール大学潮汐研究所（現、NOC Liverpool）はALGOL言語で記述された北海の高解像度二次元デジタルモデルを発表した（Heaps, 1969）。また、IOSのBidston Observatoryにおいても、デジタルモデルによって1973年に発生した高潮の再現を試み、モデルの精度向上が検討された（Davis and Flather, 1977）。石黒博士が開発・運用に当たったアナログコンピュータとその技術は、1980年までにリバプール大学のデジタルモデルに置き換えられた（Cartwright, 1999）。

日本では、1959年に、論理演算回路に真空管を、記憶回路に磁気コアメモリを使用したIBM 704型コンピュータが気象庁に導入され、FORTRAN言語によるプログラムを用いた数値予報の研究が始まった（正野ら、1958; 伊藤, 1977）。高潮の数値計算についても、宮崎正衛、上野武夫、宇野木早苗博士らが先進的な研究を進めていった（例えば、宮崎, 1980）。そして、1977年には波浪モデルの現業運用が始まった（峯松, 2009）。国内外の気象学者や海洋学者がいち早くデジタルコンピュータを活用した理由として、電子回路式のアナログコンピュータとは原理が異なり、従来の学問分野にとらわれない全く新しい装置であったことと、ユーザーは電子回路（ハードウェア）の知識や技術を要求されず、プログラム（ソフトウェア）の開発に専念できたことが挙げられよう。

日本の海洋学における機械式アナログ、電子回路式アナログおよびデジタルコンピュータの歴史は、中井（1999）に詳しいが、日本における海洋学・気象学の研究において、電子回路式アナログコンピュータを利用した

ものはほとんど見当たらない。その理由として、国内では海洋学と工学（電子工学・制御工学）という分野が出会い、融合する機会が乏しかったことが考えられる。明治専門学校で電子工学を学び、中央気象台でセンサや電源回路の開発に携わった後に、長崎で海洋学と出会い、NIOにおける北海の高潮予測によって研究を結実させた石黒博士は、むしろきわめて特殊な存在であった。一方、石黒博士は、アナログコンピュータのパラメータ入力・記憶、計算結果出力部にデジタル回路やパソコンを導入した（Ishiguro, 1977; 1979b; Ishiguro and Reeves-Wilkin, 1982）ものの、計算の手法についてはアナログコンピューティングを堅持した。この点において、石黒博士は、デジタルコンピュータの時代になってもなお、アナログ電子回路技術者としての矜持を持ち、海洋学的な現象の再現や予測に挑み続けた研究者であったといえる。

5. 定年後の活動：開発、音楽、著作

5.1. 文字判読支援装置の開発

1983年にIOSを定年退職した石黒博士は、研究所で使用していたアナログコンピュータを自宅に引き取り、改良を続けていた（Rooney, 2016）。また、王立盲人擁護協会の助成を受け、盲人のための文字判読支援装置を開発した（池田, 1993）。この結果、2種類の装置の特許が出願された。最初の装置は、光センサを用いて文字（活字）を読み取った後、鉛直に配置したピンを上方向に動かすことによって、文字に対応する点字に変換するものであった（Ishiguro, 1985）。後の装置は、光センサと振動子を組み込んだ指サックと、読み取った文字を表示するLEDマトリックスパネルから構成されていた。この指サックをはめてLEDパネルをなぞると、指先に伝わる振動によって点灯部分（つまり文字の形）を知覚できる仕組みであった（Ishiguro, 1990）。

カズオ・イシグロ氏のインタビューによれば、石黒博士は、社会のために何かをしたいという思いの強い人であった。文字判読装置も、このような考えの基に開発が行われたと思われる（濱, 1990）。社会への貢献という考えは、長崎海洋気象台で行った平戸瀬戸の潮流や長崎湾の副振動の研究、そしてNIO（IOS）で行った北海の高潮

予測のように、究極的には人命を救うことになる研究に携わることで培われたのかも知れない。

5.2. 音楽のこと

石黒博士は英国の地元オーケストラでチェロを演奏し、自宅では毎日何時間もピアノを弾く音楽愛好家だった。また作曲やオーケストレーションも行うなど、音楽家としての一面もあった（石黒, 1959; 1994a; 2000）。楽器の演奏は若い頃から嗜んでおり、明治専門学校在学中には音楽部に所属してチェロとピアノを演奏し、ときに音楽部の演奏会で自作の曲を披露するなど（実際は就職試験のため立ち会えなかった）、学生の頃から本格的に音楽に取り組んでいた（石黒, 1959; 松本, 2008）。この音楽部は1944年頃に解散した（石黒, 2000）が、石黒博士は「明専会報」の記事（松本, 1993）を通じて九州工業大学交響楽団の設立を知り、かつての音楽部のことを「明専会報」に寄稿した（石黒, 1994a; 2000）。また、長崎海洋気象台に勤務していた際には、「長崎海洋気象台の歌」（Fig. 6）を作曲し、1953年7月1日に開かれた気象創業75周年式典で発表した（長崎海洋気象台, 1978）。晩年は、故郷長崎の民謡をピアノの楽譜に著す構想を抱いていたようである（小宮, 2013）。

5.3. 著作、言語に関する思索

石黒博士は、科学・技術的な文章を書くために留意すべきことに言及した本を著している（石黒, 1994b）。博士がこの本を執筆した背景には、日本人研究者が執筆した論文の英訳を頼まれる度に、文章として不完全なものを目にした経験があった。博士は、この原因は閉じた社会の中で使われてきた日本語にあり、日本語の表現には異民族との意思交換に耐えられる客観性が備わっていないと看破した。この本は論文の英訳の経験に基づき、はじめに簡潔な日本語、つまり、文法に明確な論理性を持つ英文に匹敵する日本語文の著し方に重点を置いた解説がなされ、その次に英文の書き方を指南する構成となっている。この本に引用されている例文は、博士が実際に目を通した論文から取り上げたものであり、英国で長年、言語の背景にある歴史的・文化的な違いを認識してきた視点に基づく解説は説得力がある。この本は残念ながら現在絶版となっているが、科学論文の執筆を志す学生だ

長崎海洋気象台の歌

Tempo di marcia 作詞 尾崎康一
作曲 石黒鎮雄

1 き し か ら 一 う く ろ し の え た か
2 わ ね べ を か ら 一 一 一 ろ か し の え た か
3 く ね べ を か ら 一 一 一 ろ か し の え た か
4 あ べ べ を か ら 一 一 一 ろ か し の え た か

な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が

な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が

な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が

な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が

な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が

な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が

な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が

な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が
な な ん に 一 ど く が わ の な が

Fig. 6. The song of Nagasaki Marine Observatory introduced at the 75th anniversary event of the observatory held on 1 July 1953. The lyric is written by Koichi Ozaki (Nagasaki Marine Observatory) and the music is composed by Shizuo Ishiguro. This score is cited after Nagasaki Marine Observatory (1978) by courtesy of JMA.

けでなく、研究者や教員の指針にもなる良書である。また、CCDカメラなどの語句が含まれる例文など、前述した文字判読装置の開発の参考にしたらしいものや、アナ

ログコンピュータの特徴を示した例文も見られ、興味深い。

石黒博士は英国での出来事にまつわるエッセイを、「明専会報」に度々寄稿した。いずれも簡潔な、しかし品格のある文体で綴られており、1960～1970年代の英国の事情や出来事、そして博士の心境を知る上でも貴重な内容である。このなかにも、言語の習得や文化についての思索を記したものがある(石黒, 2001)。そこには、外国語の上達は滞在時間に比例するが、各自の才能、母国語と外国語の類似度、各自が接する外国の環境など多数の係数が含まれ、これは個人によって異なるという研究者らしい考察が見られる。このことが毎日欠かさず弾いていたピアノの上達にも当てはまることや、日本人家族が海外に長期滞在した場合の子供の現地語の習得度が、全教科の習得に影響することを指摘している。このエッセイは、外国人とのコミュニケーション能力を改善するために英語を身につけることの有用性を認めつつ、言語の習得にかかる努力と、それを使って達成する本業にかかる努力とのバランスが重要であると結ばれており、日本人のいない英国社会で独創的な研究分野を切り開いていった石黒博士の人知れぬ努力が垣間見られるような内容でもある。

6. おわりに

石黒鎮雄博士は1945年からNIOに留学するまで、ラジオゾンデのセンサや電子回路の研究、電子工学に基づいた波圧計など観測機器の開発、水理模型実験による平戸瀬戸の流れの解析と画像解析手法の適用、長崎湾の副振動の解析、電気・機械的なフィードバックによる自動制御機能を備えた有明海の水理模型の開発などを行い、数多くの成果を上げた。これらの中で、電子回路モデルを用いた潮位や高潮の解析はライフワークとなり、渡英先のNIO (IOS) では、北海の高潮予測のためのアナログコンピュータの開発と運用にまで発展させた。しかし、時代の流れはデジタルコンピュータの方向に進み、科学技術計算におけるアナログコンピューティングは斜陽を迎えた。それにも関わらず、電子回路網を用いた電気的な解析手法を追求し続けた石黒博士の姿は、奇しくもカズオ・イシグロ氏が1989年に発表した小説「日の名残り」

の主人公であるスティーブンス執事のようにも映る。

石黒博士が行った、ラジオゾンデの電源回路の軽量化から電子回路式アナログコンピュータによる高潮予測に至る幅広い研究の中に一貫するものを見出すとすれば、それは、単純な電子回路内に生じる電圧の過渡応答という複雑な現象を活用したことであろう。とりわけ、副振動の解析から高潮予測に至るアナログコンピューティングは電子工学と海洋学が独自に融合した学際領域の研究であったといえる。石黒博士は、イノベーション創出のための研究領域横断が叫ばれる昨今の半世紀以上も前に、結果としてそれを一人で実現していたのである。石黒博士の研究人生は、新しい研究を切り開くのに必要なものは、基礎的な知識に裏打ちされた幅広い経験であり、研究対象や環境の変化を恐れないパイオニア精神であることを示している。

最後に、文献調査中に発見したトリビアを紹介する。1968年頃のロンドンの科学博物館には、世界各国のラジオゾンデと共に日本の旧陸軍が用いたものが展示されており、中央气象台時代の石黒博士の上司であり、このラジオゾンデの開発に関わった湯浅光朝博士が、現地でこれを確認した(湯浅 1977)。湯浅博士と石黒博士との邂逅があったのかという興味も残るが、もしこの日本のラジオゾンデが今も現存するのであれば、科学博物館には、石黒博士が現役時代の最初と最後に関わった両方の装置が存在することになる。

本総説が、海洋学に長年関わってきた方々のみならず、物心付いた頃からデジタル機器が身近に存在した世代の研究者、文学など他分野の研究者、そしてカズオ・イシグロ氏の小説が好きな方々にも、パソコンや便利な観測機器などが存在しない時代に、自ら考え自ら開発した装置を用い、独創的なアイデアで海洋現象の解明に取り組んだパイオニア、石黒鎮雄博士の業績とその時代背景を知るきっかけとなれば幸いである。

謝 辞

本総説の執筆にあたり、松本修文博士(九州工業大学名誉教授)および一般社団法人明専会からは、明治専門学校やNIO(IOS)での石黒鎮雄博士に関する貴重な資料をお送り頂いた。宮田元靖博士(元財団法人地球科学

技術総合推進機構、故人)、光易恒博士(九州大学名誉教授)、Priede Imants博士(英国アバディーン大学名誉教授)からは、石黒博士の研究に関する情報や資料をお送り頂いた。著者の母方の祖父、堀尾(今福)彌朔は陸軍気象教育部~中央气象台に勤務中より石黒博士と親交があり、中央气象台を離れた後から病没するまで文通が続いた。著者は幼少の頃、祖父より、この英国に渡った研究者のことを誰とは知らず聞くことがあった。本総説の執筆を決意したきっかけは、これらの方々から頂いた石黒博士の情報を整理し、国内においても再評価を行う必要を感じたためである。井上徹教博士(港湾空港技術研究所)からは、平戸瀬戸・広瀬の導流堤が築造された時期を御教示頂いた。糟谷直樹氏からは、電子回路の解析に関するコメントを頂いた。海洋研究開発機構横須賀図書館の方々には、膨大な文献調査に多大なる御協力を頂いた。2名の匿名査読者、「海の研究」編集委員および編集委員長から頂いた建設的なコメントは、原稿の質の向上のために大変参考になっただけでなく、新たな資料の発見にもつながった。以上の方々に謝意を表します。

References

- 阿部豊雄 (2015): 気象庁における高層気象観測の変遷と観測値の特性 第1部 高層気象観測の変遷. 天気, **62**, 161-185.
- 赤松英雄 (1949): うねりの測定器試作. 海象と気象, **3**(1), 2-8.
- 赤松英雄 (1982): 長崎港のセイシュ(あびき). 気象研究所研究報告, **33**, 95-115.
- 青野由利 (2017): 土記 カズオ・イシグロの父. 毎日新聞, 2017年12月16日東京版朝刊.
- Bryant, J. (2006): デジタル処理は必ずしも万能ではない(あるいは何がアナログ・エンジニアを笑わせたのか). Rarely Asked Questions アナログ・デバイセズに寄せられた珍問/難問集より, http://www.analog.com/media/jp/analog-dialogue/raqs/raq-issue-10_jp.pdf (最終閲覧: 2018年8月10日)
- Cartwright, D.E. (1999): The impact of automatic computers, 1950-1980. p. 178-203. In *Tides: A Scientific History*. Cambridge University Press, London, 306 pp.
- Cartwright, D.E. (2010): Waves, surges and tides. p. 171-181. In *Of seas and ships and sciences. The remarkable story of the UK's National Institute of Oceanography*, edited by A. Laughton, J.G. Tucker 'Tom', and H. Roe, The Lutterworth Press, Cambridge, 350 pp.
- Davis, A.M. and R. A. Flather (1977): Computation of the storm surge of 1 to 6 April 1973 using numerical models of the north west European continental shelf and the North Sea. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, **30**, 139-162.

- Department of the army corps of engineers (1953): Japanese research in physical oceanography, 1948-1950. p. 26-35. In *The bulletin of the beach erosion board*, Office, Chief of engineers, Washington, D.C., 7 (1), 58 pp.
- Devlin, H. (2016): Kazuo Ishiguro: 'We're coming close to the point where we can create people who are superior to others'. *The Guardian*, 2 Dec, 2016.
<https://www.theguardian.com/science/2016/dec/02/kazuo-ishiguro-were-coming-close-to-the-point-where-we-can-create-people-who-are-superior-to-others> (最終閲覧: 2018年8月10日)
- 藤木明光・瀬戸崎半弥 (1949): 平戸瀬戸の潮流に就いて (模型実験2), *海象と気象*, 3 (2), 97-102.
- 濱美雪 (1990): Sydenham's Voice. *Switch*, 8 (6), 99-102.
- Hansen, W. (1956): Theorie zur Errechnung des Wasserstandes und der Stromungen in Randmeeren nebst Anwendungen. *Tellus*, 8, 287-300.
- 半沢洋一・富山吉祐・高浜聡・小長俊二 (1989): 長崎湾の巨大アビキ. 沿岸研究ノート, 27, 31-37.
- Heaps, N. S. (1969): A two-dimensional numerical sea model. *Phil. Trans. Royal Soc. London. A, Math. Phys. Sci.*, 265, 93-137.
- Hibiya, T. and K. Kajiuura (1982): Origin of the *Abiki* phenomenon (a kind of seiche) in Nagasaki bay. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 38, 172-182.
- Hidaka, K. and K. Yoshida (1957): Physical oceanography in Japan in the period 1953-55. p. 184-196. In *Proceedings of the UNESCO symposium on physical oceanography*, Herald & Co., Tokyo, 292 pp.
- 日高孝次 (1968): 海外との交流. p. 140-143, 海洋学との四十年, 日本放送出版協会, 東京, 271 pp.
- 平井法 (2007): カズオ・イシグロ「わたしたちが孤児だったころ」論—上海へのノスタルジーをめぐって. 学苑・文化創造学科紀要, 昭和女子大学, 東京, 805, 21-31.
- 池田雅之 (1993): 日系イギリス人作家の内なる日本. p. 127-149, 新版 イギリス人の日本観 英国知日家が語る“ニッポン”, 株式会社成文堂, 東京, 419 pp.
- 池谷光栄・堀川勇壮・村上力・三浦武雄・福本智典・平原由光・西田武彦 (1965): フライトシミュレータ用アナログ計算器, 日立評論, 47 (7), 55-64.
- Institute of Oceanographic Sciences (1984): Events and Personalia. p. 66-67, In *Institute of Oceanographic Sciences Annual Reports 1983*, Institute of Oceanographic Sciences, Wormley, 120 pp.
- Ishiguro, K. (2017): My twentieth century evening -and other small breakthroughs. *Nobel lecture by Kazuo Ishiguro, Nobel Laureate in Literature 2017*, The Nobel Foundation, Stockholm.
https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/literature/laureates/2017/ishiguro-lecture_en.pdf (最終閲覧: 2018年8月10日)
- 石黒鎮雄 (1948a): 長崎の空中電位変化. *海象と気象*, 2 (3), 3-5.
- 石黒鎮雄 (1948b): 風塵日記の一方. *海象と気象*, 2 (5), 37-40.
- 石黒鎮雄 (1948c): 電氣的自記波圧計 (第一報). *海象と気象*, 2 (5), 41-50.
- 石黒鎮雄 (1949): 電氣的自記波圧計 (第二報). *海象と気象*, 3 (2), 77-96.
- Ishiguro, S. (1949): An electric recorder for seas wave pressure. *The Oceanogr. Mag.*, 1, 135-141.
- 石黒鎮雄 (1950a): 薄膜の振動を測定する数種の電氣的記録器. *海象と気象*, 4, 27-32.
- 石黒鎮雄 (1950b): 編集後記. *海象と気象*, 4 (1).
- 石黒鎮雄 (1950c): 自記潮流計の研究 (第一報, 電接型自記流速計). *海象と気象*, 4, 18-20.
- 石黒鎮雄 (1950d): 実験用直視流速計. *海象と気象*, 4, 26-26.
- 石黒鎮雄 (1950e): 寫眞測定の海洋観測への應用 第一報, 暗箱を用いる透視圖法 第二報, 映畫を用いる透視圖法. *海象と気象*, 4, 33-39.
- 石黒鎮雄 (1950f): $x_m = \left(\frac{k}{s_0 - y_p}\right) x_p$, $y_m = H_m \left[\tan \left\{ \varphi_0 - \tan^{-1} \left(\frac{y_p}{\rho} \right) \right\} - \tan \varphi_0 \right]$ を描く製圖器械 (第一報). *海象と気象*, 4, 40-44.
- 石黒鎮雄 (1950g): 波浪の研究 (第三報, 浮力を利用する自記波高計の設計 その1). *海象と気象*, 4, 45-53.
- 石黒鎮雄 (1950h): 湖海の振動の實驗的研究の一方 (第一報). *海象と気象*, 4, 59-64.
- 石黒鎮雄・藤木明光 (1950): 廣瀬附近の潮流の模型實驗 (平戸瀬戸の潮流, 第五報). *海象と気象*, 4, 1-9.
- 石黒鎮雄・藤木明光・武藤次男 (1950): 自記潮流計の研究 (第二報, 光學的自記流向計). *海象と気象*, 4, 21-23.
- 石黒鎮雄 (1951a): 蓄電器の直並列切換によるラジオゾンデ電源方式. *海象と気象*, 5, 16-32.
- 石黒鎮雄 (1951b): 不規則な波型記録を合成または分離する機械的装置および移動平均をえがく附属装置. *海象と気象*, 5, 33-35.
- 石黒鎮雄 (1951c): 電子 Analogue 演算器の入力としてグラフを磁氣テープに変換する方法. *海象と気象*, 5, 75.
- Ishiguro, S. and A. Fujiki (1954): An analytical method for the oscillations of water in a bay or lake, using an electric network and an electronic analogue computer. Short communication. *海象と気象*, 6, 114-118.
- Ishiguro, S. and A. Fujiki (1955): An analytical method for the oscillations of water in a bay or lake, using an electric network and an electronic analogue computer. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 11, 191-197.
- 石黒鎮雄 (1955): サイバネティクスを応用した水理実験法とその装置抄録. 日本気象学会大会パンフレット, 9 (11), 1-16.
- 石黒鎮雄 (1956): 電子管式自記波圧計, 第三型の試作. 日本海洋学会誌, 12, 7-11.
- 石黒鎮雄・藤木明光・永田三和 (1956a): Tucker型電磁直線性変換器の系統的設計法. 中央気象台研究時報, 8, 154-165.
- 石黒鎮雄・藤木明光・永田三和 (1956b): 電子管式直読・自記波圧計, 第六型の試作. 日本海洋学会誌, 12, 1-6.
- Ishiguro, S. (1957): An electronic method for recording and analysing ocean waves part-I. An electronic system for recording and analysing sea waves. *Oceanogr. Mag.*, 9, 159-207.
- 石黒鎮雄 (1959): 「音楽部」のころ. 明専会報, 350, 101-102.
- Ishiguro, S. (1959a): A method of analysis for long-wave phenomena in the ocean, using hydraulic models and electronic and cybernetic techniques. An electronic system for recording and analysing sea waves part II. *Oceanogr. Mag.*, 11, 21-49.
- Ishiguro, S. (1959b): A method of analysis for long-wave phenomena in the ocean, using electronic network models. I. the earth's rotation ignored. *Phil. Trans. Royal Soc. London. A, Math. Phys. Sci.*, 251, 303-340.
- Ishiguro, S. (1968): Storm surges in the North Sea. Filmed at National Institute of Oceanography by A. F. Madgwick and N. T. Mansbridge. In *National Oceanographic Library Digital Archive*, National Oceanographic Centre and University of Southampton,
https://viewer.soton.ac.uk/nol/image/102/1/LOG_0000/ (最終閲覧: 2018年8月10日)
- Ishiguro, S. and A. J. Bunting (1968): A multiple floating-d.c. power supply for an analogue computer. *N.I.O. Internal Report*, A.35, pp. 28.
- Ishiguro, S. (1972): Electronic analogues in oceanography. p. 27-96, In *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 10, edited by H. Barnes. George Allen and Unwin, London, 565 pp.
- Ishiguro, S. (1973): Main computation network. A part of the electronic

- model for tides and storm surges. *I.O.S. Internal Document*, **89**, 46 pp.
- Ishiguro, S. (1976): Highest surge in North Sea. *Institute of Oceanographic Sciences Report*, **36**, 31 pp.
- Ishiguro, S. (1977): Input memory. A part of the electronic model for tides and storm surges. *I.O.S. Internal Document*, **60**, 53 pp.
- Ishiguro, S. (1979a): Geostrophic, gradient and actual wind fields in the North Sea during the 1953 storm surge. *I.O.S. Internal Document*, **53**, 70 pp.
- Ishiguro, S. (1979b): New input memory. A part of the electronic model for tides and storm surges. *I.O.S. Internal Document*, **61**, 74 pp.
- Ishiguro, S. (1980): Arrangement of the main computation network for the sea around the British Isles. A part of the electronic model for tides and storm surges. *I.O.S. Internal Document*, **64**, 53 pp.
- Ishiguro, S. and K. Reeves-Wilkin (1982): Interface between a microcomputer and the electronic model for tides and storm surges. *I.O.S. Internal Document*, **161**, 32 pp.
- Ishiguro, S. (1983): Storm surge predictions for the North Sea by the quasi-uniform wind pressure field method. p. 318-339. In *North Sea Dynamics*, edited by J. Sündermann and W. Lenz, Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg, 696 pp.
- Ishiguro, S. (1985): Electronic reading aid for the blind. *UK Patent Application*, GB 2153576A.
- Ishiguro, S. (1990): Reading etc. aids for the blind. *UK Patent Application*, GB 2231702A.
- 石黒鎮雄 (1994a): 古い戸畑のオーケストラ. 明専会報, **697**, 20-21.
- 石黒鎮雄 (1994b): 日本語からはじめる科学・技術英文の書き方. 株式会社丸善, 東京, 244 pp.
- 石黒鎮雄 (1996): 嘉村記念賞受賞講演要旨 北海の高潮—電子回路模型—. 明専会報, **725**, 1-9.
- 石黒鎮雄 (2000): 続「古い戸畑のオーケストラ」. 明専会報, **765**, 33.
- 石黒鎮雄 (2001): 国際語・雑記. 明専会報, **775**, 16-17.
- 伊藤宏 (1977): 19. 数値予報開発前後史—本庁導入までの経過—. p. 113-116. 気象研究所三十年史, 気象研究所編, 気象庁, 東京, 160 pp.
- Kennard, C. (2016): Understanding storm surges in the North Sea: Ishiguro's electronic modelling machine. *Sci. Museum Group. J.*, **6**, <http://dx.doi.org/10.15180/160603/002>.
- 気象庁 (1975): 高層気象観測. p. 339-351. 気象百年史, 気象庁編, 日本気象学会, 東京, 740 pp.
- 小宮勤一 (2013): ギルフォードの石黒鎮雄氏. 明専会報, **867**, 34.
- 高層気象台 (2011): 明星電気RS2-91型レーウィンゾンデとヴァイサラRS92-SGP型GPSゾンデの相互比較試験観測と検証結果. 測候時報, **78**, 221-257.
- Kurisu, A., H. Suga, Z. Prochazka, K. Suzuki, K. Oguri, and T. Inoue (2018): Potential technique for improving the survival of victims of tsunamis. *PLoS ONE*, **13**(5), e0197498. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197498>.
- 九州大学農学部干拓工学教室・長崎海洋気象台・熊本農地事務局 (1961): 有明海地域総合開発計画模型実験報告書(補). 九州大学, 長崎海洋気象台, 熊本農地事務局, 福岡, 長崎, 熊本, 12 pp.
- 松本修文 (1993): 九州工業大学交響楽団設立記念演奏会. 明専会報, **692**, 24-25.
- 松本修文 (2008): 明治専門学校および九州工業大学における交響楽団のあゆみ—資料集—. フジキ印刷株式会社, 飯塚, 230 pp.
- 峯松宏明 (2009): 気象庁で現業運用している波浪モデル. 天気, **56**, 669-674.
- 光易恒 (2017): 石黒鎮雄博士の思い出. 日本海洋学会ニュースレター, **7**(1), 5-6.
- 三浦伸夫 (2005): 追悼: 湯浅光朝先生. 科学史研究, **44**, 111-113.
- 宮崎正衛 (1980): 1980年度日本海洋学会賞受賞記念講演 高潮, 潮汐に関する研究. 日本海洋学会誌, **36**, 163-166.
- Moore, G. E. (1965): Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics*, **38**, 114-117.
- Munk, W. H., H. V. Iglesias, and T. R. Folsom (1948): An instrument for recording ultra low frequency ocean waves. *Rev. Sci. Instr.*, **19**, 654-658.
- 長崎海洋気象台 (1950a): 長崎海洋気象台談話會目録1949. 海象と気象, **4**, 54-56.
- 長崎海洋気象台 (1950b): 長崎海洋気象台談話會目録1950(1月~6月). 海象と気象, **4**, 57-58.
- 長崎海洋気象台 (1950c): 長崎海洋気象台談話會目録1950(7月~12月). 海象と気象, **4**, 114.
- 長崎海洋気象台 (1950d): 文献紹介. 海象と気象, **4**, 106-113.
- 長崎海洋気象台 (1951): 記事. 海象と気象, **5**, 49.
- 長崎海洋気象台 (1952): 長崎海洋気象台談話會目録1952(1月~12月). 海象と気象, **6**, 91-92.
- 長崎海洋気象台 (1954): 有明海の総合開発に関連した海洋学的研究 (I). 長崎海洋気象台, 長崎, 76 pp.
- 長崎海洋気象台 (1960): 模型実験による有明海の潮せきに関する研究 (第1報). 気象庁研究時報, **12**, 262-295.
- 長崎海洋気象台 (1961): 模型実験による有明海の潮せきに関する研究 (第2報). 気象庁研究時報, **13**, 84-100.
- 長崎海洋気象台 (1978): 長崎海洋気象台100年のあゆみ. 長崎海洋気象台, 長崎, 252 pp.
- 長崎地方海難審判庁 (2004): 平戸瀬戸の海難(その3「乗揚海難」). http://www.mlit.go.jp/jtsb/kai/chihoubunseki/h15/nagasaibunseki-15_2.pdf(最終閲覧: 2018年8月10日)
- 中井俊介 (1999): 第24話 海洋観測計算の変遷. p. 218-233. 海洋観測物語—その技術と変遷—. 株式会社成山堂書店, 東京, 334 pp.
- 中川勇 (1986): 気象教育部の独立. p. 430-435. 陸軍気象史, 中川勇編, 陸軍気象史刊行会, 相模原, 550 pp.
- Nakajima, R., T. Komuku, T. Yamakita, D. J. Lindsay, Y. Jintsu-Uchifune, H. Watanabe, K. Tanaka, Y. Shirayama, H. Yamamoto, and K. Fujikura (2014): A new method for estimating the area of the seafloor from oblique images taken by deep-sea submersible survey platforms. *JAMSTEC Rep. Res. Dev.*, **19**, 59-66.
- 中村勲 (1954): 有明海の潮汐と潮流に関する理論的考察. p. 46-75. 有明海の総合開発に関連した海洋学的研究 (I). 長崎海洋気象台, 長崎, 76 pp.
- Nakano, M. (1957): Some oceanographical instruments recently devised by the members of the central meteorological observatory and its subordinate organs. p. 30-37. In *Proceedings of the UNESCO symposium on physical oceanography*, Herald & Co., Tokyo, 292 pp.
- 南日俊夫・藤木明光 (1948): 平戸瀬戸の潮流に就いて(第二報)(模型実験報告). 長崎海洋気象台報告, **2**, 37-43.
- NHK (2011): ETV特集 カズオ・インシグロをさがして. NHK教育テレビ, 2011年4月17日 22:00-23:30放送.
- National Oceanographic Centre and University of Southampton (2018): National Oceanographic Library Digital Archive Beta. <https://viewer.soton.ac.uk/nol/>(最終閲覧: 2018年8月10日)
- National Oceanographic Council (1958): Long waves and storm surges. p. 9-11. In *Annual report of National Oceanographic Council 1957-58*. The Syndics of the Cambridge University Press, London and New York, 39 pp.

- National Oceanographic Council (1959): Electronic analogue for long-wave propagation. p. 10, In *Annual report of National Oceanographic Council 1958-59*. The Syndics of the Cambridge University Press, London and New York, 41 pp.
- National Oceanographic Council (1961): Long waves and surges. p. 7-8, In *Annual report of National Oceanographic Council 1960-61*. The Syndics of the Cambridge University Press, London and New York, 41 pp.
- 農林省熊本農地事務局・長崎海洋气象台 (1959): 有明海域総合開発計画模型実験報告書—有明海の潮汐に関して—. 農林省熊本農地事務局・長崎海洋气象台, 熊本, 長崎, 67 pp.
- 農林省熊本農地事務局・気象庁長崎海洋气象台 (1960): 有明海域総合開発計画模型実験報告書(続)—有明海の潮汐に関して—. 農林省熊本農地事務局・気象庁長崎海洋气象台, 熊本, 長崎, 29 pp.
- 農林省・通商産業省・運輸省・建設省・経済企画庁 (1969): 有明海域総合開発計画調査報告書, 農林省・通商産業省・運輸省・建設省・経済企画庁, 東京, 406 pp.
- 大坪久泰 (2017): 石黒さんのこと. 創始者ブログ, 宮崎国際大学ウェブサイト, 2017年12月20日.
<https://www.mic.ac.jp/founder/archives/73> (最終閲覧: 2018年8月10日)
- Prichard, B. (2013): The North Sea surge and east coast floods of 1953. *Weather*, **68**(2), 31-36.
- Rooney, D. (2016): Modelling the oceans. *Science Museum website*, <https://beta.sciencemuseum.org.uk/stories/2016/11/4/modelling-the-oceans> (最終閲覧: 2018年8月10日)
- 坂本圭・山中吾郎・辻野博之・中野英之・平原幹俊 (2013): 次世代日本近海予測モデルMRLCOM-JPNによるあびきの予測可能性. *海と空*, **88**, 15-28.
- Science Museum (2015): Electronic storm surge modelling machine. *Science Museum website*, <http://collection.sciencemuseum.org.uk/objects/co8428222> (最終閲覧: 2018年8月10日)
- 荘中孝之 (2011): カズオ・イシグロ〈日本〉と〈英国〉の間から. 有限会社春風社, 横浜, 278 pp.
- 正野重方・今村茂男・磯部谷郎 (1958): 電子計算機の気象学ならびに地球物理学への応用についてのシンポジウム(I). *天気*, **5**, 386-390.
- 週刊新潮 (1987): 英国最高の文学賞受賞で作家になった「石黒一雄」. *週刊新潮*, **32**(42), 34-35.
- 須田瀧雄 (1968): 第6章 白い上層雲. p. 503-596. 岡田武松伝, 株式会社岩波書店, 東京, 612 pp.
- 高野洋雄 (2014): 気象津波(meteo-tsunami). *天気*, **61**, 494-496.
- 高田雄之・戸原義男 (1963): 有明海の水利模型実験について (1) 模型潮せき発生の機構と水面制御の問題点. *海岸工学講演会講演集*, **10**, 70-74.
- 田中幸圓 (1977): 戦時中の積善会航空班. *明専会報*, **532**, 3-7.
- 寺田一彦 (1950): 巻頭言. *海象と気象*, **4**(1).
- 寺田一彦・安井善一・石黒鎮雄 (1953): 長崎港の副振動について. *長崎気象台報告*, **4**, 73 pp.
- Terada, K., Z. Yasui, and S. Ishiguro (1954): On the secondary oscillation of tides in the Bay of Nagasaki, short contribution. *海象と気象*, **6**, 109-114.
- Terada, K. (1957): Measurement of displacement by an electromagnetic device and its application to oceanographic measurements. p.21-25, In *Proceedings of the UNESCO symposium on physical oceanography*, Herald & Co., Tokyo, 292 pp.
- Terada, K. and M. Hanzawa (1957): Recent works in relation to the activities of the Marine Division of the Japan Meteorological Agency. *The Geophys. Mag.*, **28**, 117-133.
- Tucker, M. J. (1950): A linear transducer for the electrical measurement of displacement. *Electr. Engineer.*, **24**, 420-422.
- 宇田道隆 (1948): 「西風落し」の前兆に就いて. *海象と気象*, **2**(1), 1.
- 宇田道隆 (1954): 日本海洋学の進歩の足あと. *地学雑誌*, **63**, 139-144.
- UNESCO (1956): Beneficiaries of fellowships under the 1955/56 programme. Annex 3. In *Activities report for the period October 1955 to September 1956*.
<http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001541/154171eb.pdf> (最終閲覧: 2018年8月10日)
- UNESCO and JSPS (1957): *Proceedings of the UNESCO symposium on physical oceanography*. Herald & Co., Tokyo, 292 pp.
<http://unesdoc.unesco.org/images/0008/000824/082465EB.pdf> (最終閲覧: 2018年8月10日)
- University of Southampton (2017): University of Southampton Institutional Research Repository, ePrints Soton.
<https://eprints.soton.ac.uk/> (最終閲覧: 2018年8月10日)
- 運輸省第四港湾建設局 (1982): 佐世保港工事事務所史. 運輸省第四港湾建設局長崎港工事事務所, 福岡, 228 pp.
- 山本晴彦 (2015): 第6章 陸軍気象部の人材育成. p. 141-183, 帝国日本の気象観測ネットワークII 陸軍気象部, 農林統計出版株式会社, 東京, 544 pp.
- 山岡保 (1977): 4. 旧気象部から研究部へ. p. 93-95, 気象研究所三十年史, 気象研究所編, 気象庁, 東京, 160 pp.
- 安井善一・高尾十三 (1947): 平戸瀬戸の潮流について(序報). *海象と気象*, **1**(5), 10-13.
- 安井善一・高尾十三・吉田眞澄 (1948): 平戸瀬戸の潮流について 第一報(調査報告及び遭難防止対策). *長崎海洋気象台報告*, **2**, 31-43.
- 安井善一・高尾十三・吉田眞澄 (1949a): 平戸瀬戸の潮流について(第二報). *海象と気象*, **1**(6), 1-16.
- 安井善一・石黒鎮雄・佐藤猛郎・藤本明光・武藤次男 (1949b): 平戸瀬戸の潮流について—第4報— 写真透視図法による広瀬附近の表面流の観測. *海象と気象*, **3**(4), 1-8.
- 安井善一・石黒鎮雄 (1950): 平戸瀬戸の潮流について. *長崎海洋気象台報告*, **3**, 2-111.
- 読売新聞 (2017): 社説 ノーベル文学賞 頂点極めたイシグロ氏の情感. *読売新聞*, 2017年10月7日朝刊.
- 吉川吉三 (1957): 有明海大規模縮切計画の概要. *河川*, **5**, 18-23.
- 湯浅光朝 (1977): 13. 台風(高層)研究部関係—天沼分室における研究. p. 106-107, 気象研究所三十年史, 気象研究所編, 気象庁, 東京, 160 pp.

付録 1. 電子回路モデルの概念と潮位の解析方法

石黒博士が開発した電子回路モデルは、抵抗器、インダクタとコンデンサを直列接続した回路 (RLC 直列共振回路) を組み合わせた回路網である。湾内の観測点を水平方向に通過する単位時間あたりの流量を電流、海底などで生じる摩擦を抵抗 (R)、流れの慣性をインダクタンス (L)、そして観測点における水柱の体積を容量 (C) に置き換えると、湾内の観測点における潮位の固有振動は、回路網に外力に相当する電圧波形を入力した際に、コンデンサの両端に生じる電圧 (E) の過渡応答として表される。

電子回路モデルの R , L , C の各定数は、実際の現象と電子回路内の過渡応答が相似となるよう決定した。回路網は、湾内の複数の振動系 (振動成分) に合致するように RLC 直列共振回路を組み合わせて作成し、湾外からの外力は、回路網に電圧波形を入力することによって再現した。

1950 年代には電圧波形を自在に生成する装置 (任意波形発生器) が存在しなかったため、入力電圧波形は、発生させたい波形を描いた透明円盤を同期式モーターで回転させ、円板を通した透過光をフォトセルに inputs, 得られた波形を増幅・インピーダンス変換することで得た。コンデンサ両端の電圧の過渡応答波形は、オシロスコープの時間軸とモーターの回転周波数を同期させ、ブラウン管上に静止させて観察・記録した (Fig. 3 の (b) と (c))。

付録 2. 電子回路モデルの電気的な解説

最も単純な電子回路モデルとして、湾口を介して外海と接する長方形の湾に、パルス状の波が入った場合に湾内に発生する潮位変動の解析法を紹介する。この場合の潮位の時間変化は、デルタ関数 $\delta(t)$ で表される電圧を RLC 直列共振回路に入力した際の、コンデンサの両端にかかる電圧の時間変化 $v_C(t)$ として表される。抵抗、インダクタ両端にかかる電圧の時間変化をそれぞれ $v_R(t)$, $v_L(t)$, 回路に流れる電流の時間変化を $i(t)$ とすると、キルヒホッフの法則より電圧の時間変化は、

$$\delta(t) = v_R(t) + v_L(t) + v_C(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + v_C(t) \quad \dots(1)$$

という式で表される。デルタ関数はインパルス関数とも呼ばれ、 $\delta(t)=0$ (ただし $t \neq 0$)、 $\delta(0)=\infty$ 、無限区間における $\delta(t)$ の積分値は 1 と定義される。ここで、

$$\begin{aligned} i(t) &= C \frac{dv_C(t)}{dt}, \quad v_R(t) = Ri(t) = RC \frac{dv_C(t)}{dt}, \\ v_L(t) &= L \frac{di(t)}{dt} = LC \frac{d^2v_C(t)}{dt^2} \end{aligned} \quad \dots(2)$$

より、式 (1) は

$$\delta(t) = RC \frac{dv_C(t)}{dt} + LC \frac{d^2v_C(t)}{dt^2} + v_C(t) \quad \dots(3)$$

と表せる。 $i(0)=0$, $v_C(0)=0$ とした場合、ラプラス変換と逆ラプラス変換を利用して式 (3) を $v_C(t)$ について解くと、

$$v_C(t) = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}} \cdot e^{-\frac{R}{2L}t} \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} \cdot t\right) \quad \dots(4)$$

となる。式 (4) は、RLC 直列共振回路のコンデンサ両端の電圧は、デルタ関数で表される電圧入力に対し減衰振動を示すことを示す。また、自由振動成分の振幅 (h) とその固有周期 (T) はそれぞれ

$$h = e^{-\frac{R}{2L}t}, \quad T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}} \quad \dots(5)$$

となる。実際に入力波形はデルタ関数とは限らないため $v_C(t)$ も式 (4) の通りにはならず、波形によって出力電圧は異なる挙動を示す。

付録 3. パソコンによる長崎湾の電子回路モデルを用いた潮位解析の再現

パソコン用電子回路シミュレーションソフトウェア (LTspice XVII, Analog Devices) を用いて、Ishiguro and Fujiki (1955) によって示された長崎湾の電子回路モデル実験を再現した。この電子回路モデルは、湾の 3 点 (湾口、湾奥および香焼水道) を終端とする 3 つの振動系の基本振動のみを扱っている。再現実験では、香焼水道 (1968 年に埋め立てられた) は閉塞を仮定した。 R , L , C の各定数は寺田ら (1953) に示された値を用い、入力に用いた電圧波形、すなわち三角波のパルスの数、ピーク電圧、周期は Ishiguro and Fujiki (1955) の Fig. 8 よ

り凡その値を読み取り，入力電圧波形として設定した。結果は Fig. 4 の (b) に示す通りである。当時の実験結果と電子回路シミュレータによる再現結果は完全には一致しないが，この原因として，香焼水道の摩擦の扱い（半固定抵抗の位置）の違い，電圧変動を与える装置が持つ波形や周波数の誤差，実際の部品がもつ寄生容量や内部抵抗，コンデンサやインダクタの Q 値の違い，実験に使用した装置が持つ入出力インピーダンスの影響などが考えられる。とくに，Q 値の違いは振動の減衰に大きく影響する。とはいえ，共振により波形が次第に増加，その後減衰する傾向については観測値や Ishiguro and Fujiki (1955) の結果と一致しており，1955 年当時の実験結果を概ね再現できたと考えられる。Fig. 4 の (c) はこの再現に用いた，部品定数を含む電子回路モデルの回路図である。

Dr. Shizuo Ishiguro – a pioneer of study on oceanographic phenomena by developing original measuring instruments, experimental equipment and analog computing

Kazumasa Oguri*

Abstract

Dr. Shizuo Ishiguro (1920-2007) is often introduced as the father of Kazuo Ishiguro, who was awarded the Nobel Prize in literature 2017. Dr. Shizuo Ishiguro is a physical oceanographer worked at Central Meteorological Observatory and Nagasaki Marine Observatory until he left Japan to move England in 1960. It is only known that he was an oceanographer who studied tide and wave height, and he spent more than half of his life in England. He developed various instruments such as wave pressure recorders based on knowledge in electronic engineering and physics. He introduced image processing scheme to investigate hydrodynamic current conditions in hydraulic model experiments. He applied analog computing method to construct an electronic circuit model to analyze secondary oscillation observed in Nagasaki Bay. In England, his electronic circuit model was evolved to a large scale analog computer to predict storm surges in the North Sea. This review introduces Dr. Shizuo Ishiguro's unique studies to rediscover his literature and related information about him.

Key words: Dr. Shizuo Ishiguro, Instruments for marine researches, Secondary oscillation, Storm surge in North Sea, Analog computer

(Corresponding author's e-mail address: ogurik@jamstec.go.jp)
(Received on 21 February 2018; accepted on 13 June 2018)
(doi: 10.5928/kaiyou.27.5_189)
(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2018)

* Division of Biodiversity Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
2-15 Natsushima, Yokosuka, Kanagawa 237-0061, Japan
e-mail: ogurik@jamstec.go.jp