

日本における計算機械技術の発展と産官学連携

——リレー式計算機の事例——

青 木 洋

1. はじめに

近年、日本の技術発展と産官学連携をめぐる歴史研究が活発化している¹。とくに第2次大戦前後における産と学と軍に関する研究では、沢井（2012）のような大作が出され、大きな進展が見られている。しかし、個々の技術に即した事例研究は依然として十分ではなく、対象とする時代も限定的である。個別の事例を積み重ねると同時に、第2次大戦前後の時代をできるだけ分断せずに俯瞰することが、産官学連携の技術発展に及ぼす影響を明らかにする上で重要と思われる。

そこで、本稿では、リレー式計算機を事例に、第2次大戦前から戦後にかけての同技術の発展に、産官学連携がどのような役割を果たしてきたのかを見ていく。

ところで、現代のコンピュータはデジタル式、電子式、プログラム内蔵方式の3つの方式を主要な特徴としている。そうした形態の計算機が計算機の主流になるのは、1950年代後半から1960年代のことである。それまでは機械式、電気式、電気機械式、電子式など、使用する演算素子・部品により様々な種類の計算機があり、また演算方式ではアナログ式とデジタル式の二方式があり、それらの組み合わせで、多様な計算機が存在していた。そして、それらの計算機のうち、どの方式の計算機が主流となるかは、1950年代後半に入るまで明らかではなかった。むしろ計算の種類に応じて適切な計算機を選択すべきであるという考え方が一般的であったのである。

そうした中で、当時、信頼性や汎用性の点で有望と見られていたのが、リレー式計算機であった。リレー式計算機とは電話交換機用の電磁リレー（継電器：電気回路を開閉するスイッチ部品のこと）を演算素子に用い、外部に設置された装置から命令を一つずつ読み取りながら自動計算する非プログラム内蔵方式のデジタル計算機である。当時の日本ではリレー式計算機以外に、リレー回路を用いた様々な計算装置が開発されており、本稿ではそれらの装置も考察の対象とする。

¹ 沢井（2012）、平野（2014）、平本編（2014）などがある。

2. 戦前・戦中のリレー回路研究と計算機開発

2.1 戦前・戦中の計算機

計算機には主に三つの分類方法がある。第一に、デジタル方式かアナログ方式かの分類である。前者は数をそのまま非連続的な情報として（2進法であれば0と1の数字列で）処理する方式であり、後者は数を連続的な物理量（回転角度、電圧など）に変換し、物理量の変動で演算を行う方式である。第二に演算素子（演算を行う部品）による分類である。機械式、電気式、電気機械式、電子式などに分類される。第三にプログラム内蔵方式か否かの分類である。プログラム内蔵方式とは計算方法を指示するプログラムを装置内部の記憶装置（メモリ）に格納する方式のことである。非プログラム内蔵方式の計算機の場合、特定の計算しかできないか、計算の種類が変わるたびに配線を組み替える、外部の装置からプログラムを読み取りながら計算する、などの形態を取る。

戦前のデジタル計算機には、卓上計算機、会計機、統計機械などがあり、その多くは機械式で、歯車の回転機構で数字を処理した。そのため、単純な計算しかできないものが多かったが、その中でも比較的高度な機構を備えていたのが、統計機械であった。統計機械とは、紙カードに統計データを記録し、分類、集計する装置群のことである。カード表面にあけられた穴の有無でデータを記録し、それを機械的または電氣的に読み取り、分類、集計、作表などの作業を行った。アメリカで国勢調査のために開発され、その後、事務分野の計算に広く利用され、1920年代末には科学技術計算にも使用され始めた。

アナログ計算機では、1930年に米国マサチューセッツ工科大学（MIT）のブッシュ（V. Bush）が発明した機械式の微分解析機が、科学技術計算の分野に大きな影響を与えていた。微分解析機とは微分方程式の数値解を求めるための計算機である。金属製の円盤や車輪の回転角度を利用して積分操作を繰り返し、解を求めた。当時では最も高い精度で微分方程式の解を求めることができた。ブッシュの発明以来、英米の研究機関を中心に普及し、科学技術計算における微分方程式の重要性もあって、第二次大戦までに最も有力な計算機の一つになった²。

第二次大戦が勃発すると、弾道計算や暗号解読などの軍事用の計算業務が急増し、微分解析機や統計機械は軍に動員され、フル稼働した。しかし、そうした装置や計算要員を大量に動員しても、計算需要に十分に應えることは難しかった。そのため、イギリスとアメリカでは新たな計算機の開発の機運が高まり、電子式計算機などの開発が戦中に進められるのである³。

新たな計算機に求められた性能は、演算処理の高速性だけでなく、高い精度、汎用性（様々な計算に対応できること）、自動化（計算が途切れず自動的に進められること）などであった。微分解析機のようなアナログ計算機では演算を物理量の変動で行うため、演算精度を上げるのに難点があり、また特定の計算式しか解けなかったからである。そこに、リレー式計算機などのデジタル計算機が必要とされる理由があった。

新たなデジタル計算機の着想は1930年代後半に生まれ、第二次大戦中に開発が進められた。それらは統計機械や電話交換機の技術を利用し、複雑な科学技術計算も外部プログラムによって自動的に計算作業が進められる点に特徴があった。アメリカのハーバード大学のエイケン（H. H. Aiken）とIBM社の自動逐次制御式計算機や、ベル電話研究所のスティビッツ（G. R.

² 戦前・戦中の計算機の歴史については、ゴールドスタイン（1979）に詳しい。

³ 英米の戦中の電子式計算機の開発については、青木（2001）、5-11頁を参照。

Stibitz), ドイツのツーゼ (K. Zuse) のリレー式計算機などがそれである。

エイケンらの自動逐次制御式計算機はIBMの統計機械の技術をベースに、それを科学技術計算に応用できるように拡張したものであった。紙テープに記録されたプログラムを逐次読み取りながら自動計算するため、そのように呼ばれた。演算は統計機械と同様に、歯車の回転で行われた。スティビッツやツーゼのリレー式計算機は電話交換機用の電磁リレーを演算素子に用いた自動計算機械であった (ゴールドスタイン, 1979, 120-134, 284-285)。

それらはいずれも電気機械式の装置であり、歯車の回転やリレーの開閉動作で演算が行われた。また、いずれもプログラム内蔵方式ではないため、命令は紙テープなどに記録され、それを外部に設置された装置から一つずつ読み取りながら実行された。そのため、後に普及する電子計算機に比べて、演算処理速度は遅かったが、それらの装置は複雑な科学技術計算をデジタル方式で自動計算することに初めて成功し、現代のコンピュータの原型となった。

とくにリレー式計算機のリレー回路は現代のコンピュータのデジタル論理回路 (スイッチング回路) そのものであり、その数学的解析からスイッチング回路理論が生まれ、現代のコンピュータ科学の出発点となるのである (スイッチング回路理論編集委員会, 1989, 9)。

2.2 リレー回路の研究とリレー式計算装置の開発

日本では欧米と同様に、戦前からリレー回路やその応用についての研究が、電気通信分野の研究者・技術者らによって行われていた。理論研究の分野では、日本電気の中嶋章と榛沢正男によるスイッチング回路理論の先駆的業績があり、この点では日本の方がむしろ先行していた。

1930年代当時、電話交換機のリレー回路の設計には適当な理論がなく、設計者の記憶と経験を頼りに、大変な労力をかけて設計が行われていた。そうした状況に疑問を感じた中嶋は、回路設計の理論研究を始め、榛沢の協力を得て、研究を進めた。中嶋と榛沢の研究成果は1935年から1940年にかけて国内専門誌に発表されたが、その内容はリレー回路を代数的に表現し、その演算法則が初等代数学とは異なる論理代数 (ブール代数) そのものであることを明らかにしたものであった (中嶋, 1941, 9; 中嶋, 1970, 1658-1661)。これによれば、求める回路を数式で表し、その式を操作することで、回路を簡略化したり、別の回路に置き換えることができた (城・牧之内, 1953, 68-74)。この研究は「情報理論」で有名なMITのシャノン (C. E. Shannon) の研究に先行する画期的なものであった。

中嶋らの研究はやがて国内で反響を呼ぶ。大戦中には中嶋らの理論を拡張する研究が逓信省電気試験所や同工務局の研究者らによって行われた (情報処理学会, 1985, 5)。中嶋らの理論には電磁リレーの接点動作の遅れが考慮されていないという問題があった。これは後の電子式デジタル回路では問題とはならないが、リレー回路では電磁リレーに電流が流れ、接点が開閉するまでに時間的遅れが生じるため、それを考慮に入れた数式を考案する必要があった。

1942年2月、日本電気の中嶋の上司で、電話交換機の研究者であった嶋津保次郎を委員長とする継電器回路部門委員会が、電気通信学会・電気通信技術振興委員会に設置された。ここでは中嶋らが開拓した理論を実際の回路設計に応用するために、関係者を集めて共同研究が行われた (嶋津, 1943, 575; 電子通信学会, 1967, 86)。しかし、彼らの問題関心は主に電話交換機や電力設備の遠方監視制御装置などに使用されるリレー回路の設計にあり、計算装置には向けられなかった。

他方、日本でも早くからリレー回路の計算装置としての可能性に着目し、研究を進めていた

グループがあった。富士電機、富士通信機製造（以下、富士通と略す）の塩川新助、高田重雄らであった。富士通は富士電機の通信機器部門が1935年6月に分離独立して設立されたものであるが（富士通、1964、23）、塩川らの研究はその分離独立前から開始された（高田、1955、345；情報処理学会、1985、10）。その背景として、富士電機の海外技術提携先のドイツ・ジエメンズ社では、リレー回路が電話交換機や遠方監視制御装置だけでなく、「呼出信号、電気時計、火災報知、屋内保安、防空警報、市内交通信号の自動制御、気送管の自動選択送達などの各方面に」（高田、1955、345）応用されていたことがあった。そこで、富士電機でもリレー回路の応用が検討され、計算装置と表示装置が研究対象に取り上げられた。そして、外部から自動集計装置の設計を依頼されたことから、1935年に「個数加減算回路」という簡単な計数回路を考案した（同上、345-346）。

富士通の設立後、塩川は富士電機に残ったが、高田ら他のメンバーは富士通へ移ったため、以後の研究は両社で別々に進められた。富士通信機では1930年代末から種々の計数回路、計数装置が試作された。1939年に「加算計数装置」が試作され、翌年に東京上野で開かれた「輝く技術博覧会」に展示・実演された（高田、1955、347；『FUJI』、1955年⁴）。これは「単に加算の原理を示すモデルセットに過ぎない」ものであったが、「継電器というものが、数値計算を迅速におこない得るということを、始めて世に紹介したもの」とされる（高田、1955、347）。1941年には多くの数字を連続的に加算・集計する「総計加算集計装置」が試作された。これは競馬場用の自動集計装置（トータリゼータ）を目指したものであった（高田、1955、347；『FUJI』、1955年⁵）。

1943年には総計乗算回路、連乗回路、除算回路などが考案された。また、海軍の依頼で「暗号解読用換字計数装置」が製作された。この装置は暗号電信符号の解読用に開発されたもので、同年3月に完成し、終戦直前に空襲で焼失するまで有効に作動したという（高田、1955、350）。この装置は現存する写真で見ると非常に大がかりなもので（『FUJI』、1955年⁶）、操作盤、演算継電器架、原数記憶装置架、数値表示盤から構成されていた。その仕組みは解読の対象となる数字（原数）を操作盤から入力し、任意・選択的に各種の演算を繰り返して、その結果を表示盤に掲示し、それと原数を比較対照して暗号を解読するというものであった（高田、1955、350）。この間、富士通では計数回路関係の特許・実用新案を積極的に出願し、表1にあるように計10件を取得している。

富士電機では塩川が電力設備の遠方監視制御装置の研究に関連して、計数回路の研究を続けた（塩川、1955、138；塩川、1970、100；高田、1955、345）。塩川はリレーの開閉動作の二元的性格に着目し、2進法による計数回路の研究に並々ならぬ関心を抱いていた。塩川は後に2進法の信奉者として有名になるが、世界的に見ても早くからその重要性に気づいていた研究者の一人であった。当時、塩川は次のように書き記している。「今や近代技術の精鋭たる継電器回路が登場するに及び、茲に始めて本質的に2進法に適はしいものが出現した次第で、改めて同法の有用性が新しい立場から見直されたと言へるのである」（塩川、1944、31）。塩川は2進法により加減乗除を行う計数回路の研究に取り組み、1942年から43年にかけて「2進法4則電算盤」を試作した。この装置は1台の直立型パネルで構成され、そこに200個のリレーからなる計数回

⁴ 「富士電気計算機のあゆみ」『FUJI』第6巻第4号、1955年、口絵。

⁵ 同上。

⁶ 同上。

表1 富士通の計数回路に関する特許・実用新案

登録番号	名 称	公告登録日	発明・考案者
特140371	電氣的計算装置	1940.8.26	高田重雄・砂盛正人
特156695	電氣的集計装置	1943.1.30	砂盛正人・高田重雄
特158385	共通制御式電氣的計算装置	1943.5.5	赤羽二郎・浅川鉄夫
特158386	電氣的計算装置	1943.5.5	高田重雄・赤羽二郎
特160233	電氣的計算装置	1943.8.10	高田重雄・赤羽二郎
特165852	継電器を使用する乗算装置	1944.7.29	内山一雄・高田重雄
特165853	継電器式除算装置	1944.7.29	内山一雄
特166052	継電器式乗算装置	1944.8.4	高田重雄
特175792*	二進法継電器式加減演算方式	1947.9.23	塩川新助
特175793*	二進法と十進法との継電器式換算装置	1947.9.23	塩川新助
実346723	集計装置	1944.7.3	高田重雄
実354807	総計表示装置	1945.12.20	高田重雄

出所)「計数と表示に関する当社所有特許実用新案一覧表」『FUJI』第2巻第3号, 1951年7月, 132頁; 高田(1955), 345-355頁; 『特許発明明細書』1949年11月1日。

注) *富士電機の特許。

路が組み付けられていた。パネル上端には操作盤があり、そこから数値の入力、結果の表示が行われた。この装置では2進法20桁までの加減乗除算が可能であり、2進法と10進法の換算機能も備え、利用の便がはかられていた(塩川, 1955, 138; 高田, 1955, 348; 『FUJI』, 1955年⁷⁾。表1にあるように、富士電機はこの装置で後に特許を取得している。

この塩川の研究に注目した人物がいた。東京帝国大学の佐々木達治郎(同大学附置航空研究所研究員, 同大学工学部教授, 陸軍少将)である。佐々木は戦中に微分解析機と連立方程式求解機などのアナログ計算機の開発に取り組み、成果を上げた計算機開発のパイオニアであるが、それだけでなく、財団法人・大日本航空技術協会で計算機に関する共同研究会を主催したり、財団法人・航空計数研究所の設立・運営を主導するなど、戦中の日本の計算機研究の中心的存在であった(青木, 2001, 11-24)。

佐々木らは塩川の研究が連立方程式の計算機に応用できると考え、塩川に同式の計算装置の開発を勧め、塩川の研究を支援した(塩川, 1955, 138; 塩川, 1970, 101)。塩川の回想では「小磯内閣の政府研究委嘱を受けることになった」としているが(塩川, 1955, 138)、佐々木らの推薦により内閣技術院から研究補助金の交付を受けたものと思われる。内閣技術院とは戦中の科学技術動員の中枢機関であり、佐々木らの活動も技術院の支援のもとで進められていた。

こうして、塩川は3元連立方程式の「行列式解法機」の開発に取り組んだ(塩川, 1955, 138; 塩川, 1970, 101; 高田, 1955, 345, 348)。同機はこれまで塩川が手掛けてきた2進デジタル式リレー回路の計算装置であるが、その名称から推測すると、通常の消去法でなく、行列式の解法による計算装置であったようである。同機の開発は資材・人材の不足や研究室の疎開といった困難な状況の中で続けられ、終戦間際には完成に近づきつつあったという。

⁷⁾ 「富士電気計算機のあゆみ」『FUJI』第6巻第4号, 1955年, 口絵。

2.3 「電気統計機」の開発

戦中の日本では戦争の拡大とともに計算業務が急増し、その対応に追われたことは欧米と同様であった。しかし、日本では欧米ほどには計算機が発達していなかった。大戦初期には微分解析機のような高度なアナログ計算機は国内に皆無であり、統計機械は全面的に輸入に依存していた。当時日本で唯一国産化が達成されていたのは、「タイガー計算機」などの手回しの卓上計算機だけであった(喜安, 1971, 816; 内山, 1983, 163-175)。そのため、戦中の日本では何よりもまずアナログ計算機や統計機械などの既存の計算機械の国産化に努力が注がれた。前述の東大の佐々木らも、そうした情勢を受けてアナログ計算機の開発を進めたのである。

事務統計の分野ではアメリカ製統計機械の輸入、修理、保守などが困難になり、その国産化が緊急の課題となった。そこで、政府は1941年12月に統計機械を重要機械製造事業法の対象機種に指定し、東京芝浦電気、鐘淵紡績、神戸製鋼所の3社が国産化に取り組んだ。しかし、統計機械は複雑な機構の機械であったため、当時の日本の機械工作技術では実用に耐えうるものを製作することは困難であった。各社ともカードを分類する分類機や、カードを集計し、表を書き出す集計製表機などの中核的な装置は、試作の域を出なかった(青木, 2001, 24-27)。

また、統計機械で使用される紙カードも、厚さが均一で耐久性のある、高品質のものが要求された。そのため、日本ではカードの製作も試行錯誤が繰り返されたが、日本の多湿の気候も影響して、実用に耐えうるものを製造することができなかった(同上, 25)。

こうした中で、戦中の日本では統計機械の国産化に伴う困難を回避して、リレー回路を用いた新たな統計機械を開発する試みがあった。それは東京帝国大学工学部電気工学科の山下英男を中心とするグループによる「電気統計機」(電気式分類集計機)の開発であった。山下らは従来の統計機械のように紙カードを介さず、キーボードで電氣的にデータを入力し、それをリレー回路で分類集計する装置の開発を試みた。つまり、データをできるだけ電氣的に処理することで、困難な機械工作と紙カード製造を回避しようとしたのである(山下・佐藤, 1952, 148, 150)。

この発想は統計機械というよりも、リレー式計算機概念に近いものであった。従来の統計機械ではデータの分類はカードの仕分け作業と同じであり、機械がカードの穿孔位置を検知してカードを振り分けていくが、山下らの電気統計機ではキーボードから入力された電氣的データを、リレー回路で分類した(山下他, 1948)。

山下らによれば、研究の発端は以下の通りであった。

昭和15, 6年頃、当時国際情勢は漸次悪化しこれらの米国だけでしか製造されなかった機械の輸入がむつかしくなり、また一方では国内の事情はますます統計が必要となってきた。このような時期に従来の統計機に対して別な考えをもっていた現成城大学経済学部長中川友長博士と現名古屋大学理学部教授小野勝次博士の二人が一つの構想をもって筆者らの研究室を訪ねられた。この構想とは技術的に解決しなければならない問題は含んでいても従来のものにくらべて革新的な構想であった、それは簡単にいえば画線法の機械化というべきものであった(太字は原文のまま)。(山下・佐藤, 1952, 148)

画線法とは1本1本、線を引ながら数を数えることで、日本では「正」の字を用いて数えるのが一般的である。ここでの意味は、カードを使わずに、調査票から1本1本、線を引くように直接キーボードでデータを入力し、分類集計するということである。そもそも国勢調査などの統計調査では、集計済みのカードを再び使用することはあまりない。会計分野ではカードにデータを保存し、それを再利用するが、そうした必要性がない統計調査で高価なカードを用

いるのは、はなはだ不経済である。この点に着目した内閣統計局の中川友長と名古屋帝国大学理学部の小野勝次が、東大の山下研究室を訪れ、「画線式」の実現への協力を要請した。その結果、中川、小野と山下研究室(山下英男・佐藤亮策)による共同研究が開始したのである。中川は統計学・統計機械の専門家(中川, 1948)、小野は数学者、山下・佐藤は電気工学者であったので、その試みは戦中の日本で盛んであった専門分野を越えた研究協力の一つであった。

山下はもともと電気工学の放電現象の研究者であるが、戦中、様々な電気機器や電子顕微鏡の研究に取り組んだ。計算機械の研究もその一つであった(東京大学百年史, 1987, 337, 339)。山下は戦後、東大の電子式計算機、TACの開発者として有名になるが、戦中、電気積分機や光学的電気演算器などのアナログ計算機の研究にも取り組んでいたことはあまり知られていない(山下・佐藤, 1944a; 同, 1944b)。これはMITのブッシュらが進めた計算機械研究と同様のものであった(ゴールドスタイン, 1979, 102)。山下は戦前にMITへ1年間留学した経験があり(山下, 1983, 36)、ブッシュらの研究動向をよく知っていたものと思われる。

山下らは1941年に上述の重要機械製造事業法に関連して、商工省機械局より重要機械研究費の補助金を受け、基本部分の研究試作を開始した。1942年には(財)三井報恩会から研究資金の援助を受け、上述の日本電気の嶋津保次郎から試作への協力を得て、最初の設計・試作に取りかかった(山下他, 1948, 61; 山下, 1951, 86; 山下・佐藤, 1952, 148)。資材不足などにより作業は容易に進まなかったが、1944年2月には「二架のモデル程度のもの」(山下, 1951, 86)が出来上がった。しかし、戦中の開発はそこまでであった。

3. 戦後の「電気統計機」の実用化

大戦終了後の1946年2月、アメリカのペンシルバニア大学の電子式計算機、ENIACが公開され、その様子がニューズウィークやタイムなどの雑誌を通じて世界中に報道された⁸。こうした報道に刺激され、日本でも電子式計算機の研究に着手する者が現れた。大阪大学工学部の城憲三である。城は日本の計算機研究の第一人者であり(城憲三, 1947)、戦中は佐々木が主催する計算機の共同研究会のメンバーでもあった(青木, 2001, 18)。

しかし、城他(1972)の回想によると、それまで無線などのアナログ回路で使用されてきた真空管を、デジタル式のスイッチング回路で使用する原理がわからず、当初から苦勞したという。その後、徐々にENIACの原理を理解し、さらにプログラム内蔵方式の原理を説明したフォン・ノイマンらの解説書を入手し、その仕組みを理解した。日本では1950年頃までは、電子式やプログラム内蔵方式の計算機の概要を理解するのに精一杯であり、その開発が始まるのは、1952年からとなる(青木, 1994, 88-89)。

それに対して、終戦後の困難な状況の中で、戦中の研究を早期に再開し、実用的な成果に結びつけたのが、山下英男らの「電気統計機」であった。山下は研究再開後の状況を次のように回想している。

終戦直後軍から放出された継電器の払い下げを受けるため、われわれはリュックサックを背負って集めにいき、その組み立てにかかった。4,000余の継電器、2,000余の度数計を一つずつ洗って、スプリングや歯車を調整することは大変な労力であったが、われわれは配給

⁸ *Newsweek*, 18 Feb. 1946, p.29; *Time*, 25 Feb. 1946, p.25.

の芋を噛りながら昼夜兼行で組立てを急ぎ、昭和23年ごろには一応実用できるものを作り上げることができた。(山下, 1970, 13-14)

電気統計機(電気式分類集計機)は従来の統計機械の分類集計機に相当するもので、データの演算機能は持たないが、データを分類し、集計する装置であった。これを紙カードを用いず、エミッター(キーボード)からデータを電氣的に投入し、リレー回路で処理するのが、電気統計機の特徴であった。その概要は1948年初めに雑誌に発表された(山下他, 1948)。それによると、同機は正副2台を1組としたエミッター数組と、回路装置群から構成されていた。正副二名のオペレータが同一の調査票を見てデータを入力し、両者の入力データが一致すると、データが受け付けられ、組合せ回路で分類され、電話用の度数計に結果が記録された。

エミッターは多数組あるため、データの受付が重ならないように、待合せ回路で制御された。データは入力後、2進法にいったん変換され、データ受付後、10進法に再変換された。分類を行う組合せ回路はプラグボード式であり、求める統計表の種類に応じて、あらかじめ差し込みプラグで回路の配線が設定された。

回路全体の特徴として、誤ったデータが記録されないように、動作の各段階でデータの検査を行うことがあげられる。データ入力を正副二名で行い、10進から2進、2進から10進に変換する際に、正副二つの回路でデータが照合された。組合せ回路から度数計に記録する際も、組合せに間違いがないかや、度数計に正しく記録されたかを検査する回路が付けられた(山下他, 1948; 山下・佐藤, 1952)。計算機のリレー回路では電話交換機と違って、リレーの開閉動作が頻繁に行われるため、接触不良や短絡障害などによる誤動作が起りやすかった。そのため、誤った結果を出力しないためには、動作の各段階での検査が不可欠となるが、こうした工夫が早くも山下らの電気統計機に見られた。

山下他(1948)によれば、すでに同稿発表時点で、電気統計機は(社)中央統計社で実際に使用され、「好成绩を挙げている」(同上, 61)とされた。中央統計社とは、戦中に山下と共同研究を行った内閣統計局の中川友長らにより、戦後設立された統計業務のサービス会社である。中川らは戦後、大蔵省別館を借り受け、官公庁や新聞社などの統計業務を受託する事業を始めていた(山下, 1970, 14)。電気統計機はまだ試作機の段階にあったが、中川の中央統計社に設置され、使用されていたのである。

この間、山下らは文部省と毎日新聞社より研究費の補助を受け、「研究の進展に大いに資する所があった」(山下, 1951, 86)としている。文部省からの支援は、1948年度の科学試験研究費の補助金として20万円の交付があった(『研究抄録』1948年⁹)。また、1947年度と1948年度に、文部省所管の学術団体である学術研究会議に山下を班長とする「電気演算器」研究班が組織され、それを通じた支援があった(青木, 2007, 33, 34)。研究班は学術研究会議が戦中に進めた研究動員のための共同研究制度であり、1948年度まで制度が存続した。山下は「電気演算器」に関心のある研究者を集め、同制度に基づく研究班を組織していた。1948年度の概要を示すと、表2の通りである。東大の福田節男、山内恭彦、雨宮綾夫、電気試験所の伊藤努など戦前・戦中にアナログ計算機の研究に携わった者、山下の電気統計機の研究協力者である名大の小野勝次、リレー回路の研究者である電気試験所の岡田成敏など、アナログとデジタル両分野の研究者が研究班に参加していたことがわかる。研究費の総額は15万円、このうち班長の山下の研究費は

⁹ 「昭和23年度科学試験研究費第1次決定配分表」『研究抄録』第1巻第3・4号, 1948年12月, 54頁。

表2 学術研究会議第7部第1研究班「電気演算器」(1948年度)

研究分担課題	研究費	班員名	所 属	備考
(1) 自動電気計算機	25,000	山下 英男	東京大学第一工学部	班長 幹事
(2) 微積分求解機	20,000	福田 節雄	東京大学第二工学部	
(3) 〃	15,000	山内 恭彦	〃	
(4) 〃	20,000	清水 辰次郎	大阪大学理学部	
(5) 代数方程式求解機	20,000	伊藤 努	電気試験所	
(6) 自動電気計算機	15,000	岡田 成敏	〃	
(7) 電気演算器の基礎事項	8,000	小野 勝次	名古屋大学理学部	
(8) 〃	12,000	雨宮 綾夫	東京大学第一工学部	
(9) 求積演算器	15,000	田中 末雄	早稲田大学理工学部	
計	150,000			

出所) 学術研究会議「昭和23年度研究班組織—自然科学の部—」。

2万5,000円であった。

班員の構成や班の結成時期から見て、この研究班は国内の計算機に関心のある研究者を集めた研究会としては、おそらく戦後最初のものであったと思われる。戦中に東大の佐々木達治郎が果たした計算機械分野の研究交流促進の役割を、終戦後は山下が果たしていたといえる。

さて、中央統計社では様々な機関から統計調査の集計を委託されたが、とくに東京都統計課から都の人口、住宅、商業、交通などの調査に関する、一件数十万から百数十万の調査票の集計を委託され、それらを電気統計機を用いて行った。これが予想以上に満足な成果を上げたため、東京都では1950年に電気統計機の導入を決定した(山下, 1951, 86)。東京都総務局統計課長の松本留義によれば、都では1930年代にアメリカ製の統計機械を導入し、戦災で焼失するまで使用していたが、カードに要する経費と、分類機にカードをかける時間に難点があったという。カード自体が高価であっただけでなく、カード式の分類機では所要の結果を得るまでに、同じカードを何度も機械にかける必要があるため、時間もかかったのである。松本は、電気統計機は従来の統計機械に比べて3倍の能率があり、しかも電気統計機では正副のデータが照合されるので、正確性の点でも優れているとしている(松本, 1951, 87)。

都庁の電気統計機の製作は、前述のように戦前からリレー回路による計算装置の研究を行っていた富士通に委託された。富士通にとって、この電気統計機の製作は、終戦によって途絶えた計算機の研究開発を再開する契機となった。高田重雄ら戦前からの技術陣が電気統計機の製作を担当した(高田, 1951)。また、同時期に総理府統計局が電気統計機の導入を決定し、これは日本電気に製作が委託された。日本電気は前述のように戦中から山下らの研究に協力していた。富士通、日本電気が製作した電気統計機は1951年に完成し、それぞれ納入された(山下・佐藤, 1952)。

富士通製の電気統計機の概要を見ると(高田, 1951)、エミッターの数は24台、正副で12組、度数計は2,500個であった。リレーの個数については不明であるが、上掲の山下の回想では「4,000余」としている。後に登場する富士通のリレー式計算機と変わらない規模の装置であったことがわかる。分類集計するだけの装置で、これほどのリレーが必要であったのは、24台・12組もの入力装置からのデータを照合しつつ、待合せ回路で整理して順番に処理するという同様

の先進的な機構に、その要因があったと考えられる。

この電気統計機の製作は、日本電気にとっては、その後の事業展開につながらなかったが、富士通にとっては、リレー式計算機の事業化への契機となった。富士通では1952年に再び山下研究室の指導の下、東京証券取引所の株式取引事務用の「証券用モデル電算機」の製作に取り組み、1953年3月に完成させた。これは受注には至らなかったが、その経験はその後の同社のリレー式計算機の開発に生かされていく（佐藤，1955，229；塩川，1955，139-140）。富士通の技術部長であった尾見半左右は、山下研究室との関わりを次のように回想している。

昭和26年頃、東大の山下英男先生が、東京都の統計機を試作されていたが、どうも二重点の継電器でないと、不安定なことを結論し、当時の社長の高さん（高純一、引用者）のところに、当社に引き受けるよう強く主張された。これは大して面倒なものでなかったの作って役立たしていただいた。次いで、同氏は証券取引所の売上や取引の計算に継電式計算機を使うべきだと当局に進言し、これも、むりやりに引き受けさせられた。このような新しい芽生は、山下先生の強い主張によってできたもので、先生とずい分論争もしたが、そのお蔭で人様より一歩先を歩むことができた。（尾見，1965，3）

山下が富士通に及ぼした影響は大きかったのである。

山下らは電気統計機の試作後、電気統計機に加算機能を付加した「分類加算機」の試作に取り組んだ。そして、1950年初めにその概要を発表している（山下他，1950）。これは統計機械の集計製表機に相当するものであるが、リレーの演算回路が付加されたため、リレー式計算機により近い装置となった。山下らは次のように述べている。「本分類加算機は近来主として米国で発達しつつある逐次計算機の一つとも見ることができるのであって、今の試作機になお必要の回路を幾分付加することにより、種々の方程式の求解機あるいは統計上の相関係数の演算機等として使用できるようにすることは全く容易である」（同上，12）。

続いて、山下らは1950年度に文部省科学試験研究費15万円の交付を得て、リレーを用いた演算回路の研究を行った。その内容は従来の機械式、電動式の卓上計算機に回転型リレーを導入して、高速化を図ったもので（文部省科学試験研究費，1952，60）、小型の計算機の開発を試みたものであった。

その後、山下研究室では富士通の「証券用モデル電算機」の開発に協力するものの、リレー式計算機の開発には進まなかった。山下が真空管式計算機（電子計算機）の開発計画に関わるようになったためである。その結果、日本のリレー式計算機の開発は、富士通や、次に述べる逓信省電気試験所（後、工業技術院電気試験所）の研究者らによって進められることになる。

4. 戦後のリレー式計算機の開発

4.1 電気試験所におけるリレー式計算機の開発

電気試験所数学研究室では、終戦後、後藤以紀、駒宮安男らによって、前述の中嶋・榛沢やシャノンが戦前に切り拓いたスイッチング回路理論を発展させる研究が開始された。前述のように、中嶋らの研究は論理代数をリレー回路網の設計に応用する試みであったが、リレーの接点動作の遅れが考慮されていないという問題があった。この問題に対して、後藤は論理代数を拡張し、接点動作の遅れを論理関数に取り入れた論理関数方程式を作り、それを解くことで、比較的容易にリレー回路の動作や構成を明らかにする手法を1948年に考案した。そして、その拡張した

論理代数を「論理数学」と名付けた(後藤, 1955; 駒宮, 1971, 1033)。

後藤は当初この論理数学を電話交換機の回路の改善に役立てようと考えていた。しかし、「自動制御回路, 特に自動計算機の回路に利用する方が面白いと思い」(後藤, 1955, 5), 駒宮とともに計算機の回路設計に応用する研究を始めた。この「面白い」という意味は、「電話交換のシステムはすでに完成されており, マイナーな改良はできても, メジャーな改良はできにくい」が、「自動計算機なら, 自由にシステムが考えられる」(駒宮, 1971, 1034)ということであったようである。後藤の指導の下で, 駒宮は1950年頃に計算機回路理論の概略を完成させ, その成果を駒宮(1951)としてまとめた。そして, 駒宮は末包良太とともに1952年4月からリレー式計算機の試作を始め, 1953年3月頃, 小型の実験機である ETL Mark I を完成させた。これは実験機ではあったが, 日本で最初に稼働したリレー式計算機であった。そして, 海外の文献に頼らず, 自らの理論研究に基づいて回路を考案し, 製作にまで漕ぎ着けた計算機であった(駒宮, 1971, 1034)。

これより先, 1952年に電気試験所長に就任した後藤は, ETL Mark I の製作状況から, 同機に基づく実用機の開発が可能と判断し, 同年末, 実用機である ETL Mark II の開発を, 1953・1954年の2年計画で実施することを決めた。当時, 理工学の発展がますます多くの数値計算業務を要求し, 数値計算業務の遅滞が理工学の発展を阻害することが懸念されていた。そこで, すでに確立された技術であるリレーにより「速かに完成して, 実用に供し, 山積している理工学上の問題を速かに処理せねばならない」(駒宮, 1955b, 217)と考えたのである。

駒宮らは1953年初めから ETL Mark I の製作に並行して, Mark II のための部品調査を開始した。Mark II では Mark I に比べて大量のリレーを使用するため, その選定を慎重に進めた。その結果, 富士通製のリレーが適することがわかり, Mark II の製作は富士通に依頼することとなった(駒宮, 1971, 1034-1035)。

その頃, 富士通では前述のように, 山下研究室の指導の下, 証券用モデル電算機を製作中であった。その中心となったのが, 同社技術部の池田敏雄, 山本卓真ら若手技術陣であった(松山, 1977, 664)。前掲の尾見の回想では「電気試験所長後藤以紀先生の MARK II を作れとのこれまた強い申し入れで(後略)」(尾見, 1965, 3)と述べられているが, 同社では電気試験所からの依頼を受け入れ, Mark II の製作を担当した。

駒宮らは1953年に電気試験所の田無分室で ETL Mark II の設計を開始した。同年秋頃, 田無分室では図面を引く要員が不足したため, 川崎の富士通の一室を借り受け, 同社から要員の協力を得て, 1954年春頃まで同社内で設計作業を行った。この間, 駒宮ら電気試験所のグループと池田ら富士通の技術陣との打ち合わせが頻繁に行われ, 駒宮らの考えが富士通の技術陣に伝えられた。その後, 富士通で機器の製作が行われた。入力装置の紙テープ読取機やさん孔機(穴あけ機)は, 富士通を通じて, 印刷電信機メーカーの新興製作所に製作が委託された。リレーは駒宮らの要求で計算機用のものが富士通で新たに開発された。こうして, ETL Mark II は1955年秋に完成し, 電気試験所の永田町本部に設置された(駒宮, 1955b; 駒宮, 1971, 1035-1036)。

完成した ETL Mark II は, 2万2,000個以上のリレーを使用し, リレー式計算機では当時世界最大規模で, 最高速度の演算処理能力をもつ計算機となった。リレーの動作速度そのものは海外の大型機に比べて遅かったが, 駒宮が「将棋倒し方式」と呼ぶ非同期式の回路制御方式を採用したため, 同期式に比べて無駄な時間を省くことができたことに, その要因があったという(駒宮, 1971, 1036; 駒宮, 1976, 513)。同期式とはコンピュータの主流の制御方式であり,

一定の間隔で回路に電気パルスを通し、それに同期させて各部品を動作させるものであるが、各部品の動作時間にバラツキがあるため、パルスの間隔に一定の時間的余裕を持たせる必要があった。これに対して、非同期式では電気パルスによる同期はなく、前の部品の動作完了が次の部品の動作開始の情報となって動作が進行するため、そうした余裕を持たせる必要がなかった。

また、非同期式ではリレーの誤動作があった場合、動作の進行が止まるので、動作が進行する限り計算に誤りがなく、回路の誤動作の検出が容易という特徴があった。これに関連して、ETL Mark II では各回路を正副の回路で構成し、正副の結果を照合しながら動作を進める検査機構を備えていた。そして、誤りがあった場合には、その部分だけ自動的に再計算する機能（セカンド・トライアル）があった（駒宮, 1971, 1036-1038）。前述のように、リレー式計算機で誤った計算結果を出力しないためには、動作の各段階での検査が不可欠となるが、この点についても配慮がなされていた。非同期式の制御方式や正副回路による自己検査機構は、ETL Mark I, Mark II に共通する特徴であった。

完成後の ETL Mark II は、電気試験所内部だけでなく外部からも科学計算の依頼が殺到し、多忙を極めたという（駒宮, 1955b, 13; 駒宮, 1971, 1036）。

4.2 富士通におけるリレー式計算機の開発

他方、富士通では池田ら若手技術陣により1953年5月頃からリレー式計算機、FACOM 100の設計が開始された。同社では前述のように電気試験所の ETL Mark II の製作を担当するが、ほぼ同時期に、社内でリレー式計算機の開発を開始するのである。この開発には政府の支援があり、通産省より1953年度の工業化試験補助金が交付された。政府に申請した計画の総経費は1,930万円、補助額は650万円であり（『学術月報』1953年¹⁰）、申請した計画の3分の1の経費が国により補助されたことになる。

富士通のFACOM 100とその後継機のFACOM 128は、電気試験所の ETL Mark II の製作とほぼ同時期に開発が進められたため、両者のリレー式計算機には、信頼性に関する考え方や機構、部品、装置などに多くの共通点が見られる。FACOM 100でも信頼性が重視され、非同期式や自己検査回路、セカンド・トライアルなど、ETL Mark II と同様の考え方や機構が取り入れられていた。これは「証券用モデル電算機」の製作でリレーの誤動作に悩まされた経験が生かされたものであったという（松山, 1977, 665; 山本, 1978, 35）。

しかし、両者の設計思想は大きく異なっていた。電気試験所の ETL Mark II は2万2,000個以上のリレーを使用した超大型機であり、国を代表して1台製作し、それを国の試験研究機関を中心に広く利用することが想定されていた。数値を一時的に貯めておく記憶装置だけで、1万個余りのリレーが使用されていた（駒宮, 1971, 1036; 駒宮, 1976, 513）。他方、FACOMの開発では計算機自体の将来的な普及を考え、経済性が重視されていた。池田は当時の雑誌で次のように述べている。「計算機は小型であり小規模であることが望ましい。故に如何に合理的に経済的に設計するかが最も重要である」（池田, 1955, 260）。

池田（1955）と駒宮（1955a）を見ると、両者が交流し協力しつつも、設計思想で激しく対立していたことがわかる。争点は計算機内部の数字の処理方法（2進法か10進法か）と、それに応じた数字の表現方法（2進コードかその他のコードか）にあった。後のコンピュータの主流

¹⁰ 「昭和28年度各省応用研究費の配分結果 (I)」『学術月報』第6巻第6号, 1953年9月, 409頁。

は2進法であり、数字を2進法で表現する方が演算装置や記憶装置の部品点数(素子数)を減らすことができるが、リレー式計算機の場合は必ずしもそのようにはならなかった。2進法では2進・10進変換装置に多くのリレーが必要となること、自己検査回路では2進法にしてもあまり素子数を減らすことができないこと、記憶装置に多くのリレーが必要となるため、記憶装置が小さい場合、2進法による素子の節約効果も小さくなること、などがその理由であった(池田, 1955, 259-260; 山口, 1955, 268-269; 松山, 1955, 277-278)。

結局、記憶装置が小さいリレー式計算機で2進法を採用すると、10進法よりリレーの個数がかえって多くなる可能性があった。そのため、ETL Mark II では2進法が採用されたが、FACOM 100, 128では10進法が採用されたのである。FACOM 100の開発では56号型という電話交換機で一般に使用されるリレーが約4,500個使用された(松山, 1977, 666)。これはETL Mark II の約5分の1の個数であった。記憶装置は20語であり(同上)、これはETL Mark II の10分の1の容量であった。

また、実用的な計算機を開発するには、本体の演算・記憶装置だけでなく、入出力装置の開発が不可欠である。電気試験所の最初のリレー式計算機、ETL Mark I は入出力装置が整備されていなかったが(佐藤, 1955, 229)、FACOM 100では入出力装置の開発にも力が注がれた。しかし、社内にはそれらの装置の開発に必要な精密機械の製作技術がなかったため、入力装置の開発は印刷電信機メーカーの新興製作所に依頼し、60単位の紙テープ読取装置とさん孔機が開発された(松山, 1977, 666)。従来の印刷電信機は6単位であるため、計算機用に幅広い紙テープを採用し、10倍の読取量を実現させた(小川・藤尾, 1955, 329)。出力装置のプリンタは社内技術部で内製することになり、岩井麟三らが開発を担当した(松山, 1977, 666)。これも当初は新興製作所に製作を依頼したが、難色を示され、内製することとなった。そのため、開発には相当苦労したという(岩井, 1978, 30)。これらの入出力装置は後に改良され、ETL Mark II やFACOM 128にも採用されていく。

こうして、設計開始から約1年半後の1954年10月末にFACOM 100は完成した(松山, 1977, 667)。これはETL Mark II より1年も早い完成であった。FACOM 100は社内用の実験機であるが、入出力装置を備えた日本で最初の実用機であった。それまで国内に同様の計算機がなかったため、社外の科学者や技術者から計算依頼が殺到した。その概要は『FUJI』1955年の「電気計算機特集号」(第6巻第4号)に詳しく報告されている。とくに同特集号の赤羽(1955)では計算の実例が一覧表にまとめられている。それらを見ると、理工学の数値計算に幅広く使用されていたことがわかる。具体的には、レンズ設計、天気予報、天体観測、電気回路設計、原子核計算などである。利用機関は産官学の22の機関名が上げられている。大学では東大、京大、東北大、東京工大、東京都立大、官庁では海上保安庁、統計数理研究所、中央気象研究所、防衛庁、地理調査所、電気通信研究所、運輸技術研究所、企業・団体では電力技術研究所、電源開発、東京電力、三菱長崎造船所、石川島重工、キャノン、小西六、東京光学、オリンパス、NHK技研であった。

また、この時期の富士通にはリレー式計算機の製作依頼も集中した。東大理学部地球物理学教室からは地震波動の解析に用いる「自己相関係数計算機」の製作依頼があり、富士通ではこれを1955年1月に完成した(安芸, 1955)。また、文部省統計数理研究所からは、平均、標準偏差、相関係数などを求めるための基礎計算を行う「統計量計算機」の製作依頼があり、これをFACOM 415Aとして1955年6月に完成させた(林・石田, 1955; 高田, 1955, 355)。これらの

計算機はいずれも特定の計算を行う単能機（専用機）であった。

当時、統計数理研究所では前述の佐々木達治郎が所長を務め、佐々木のもとで計算機の開発・導入が進められていた（佐々木, 1955）。同所では上述のFACOM 415Aの導入に続いて、大型の汎用機の導入を計画し、富士通に製作を依頼した（林・石田, 1955）。これがFACOM 100の後継機であるFACOM 128となった。同機は1956年9月に統計数理研究所に納入され、富士通の商用機第1号となった（松山, 1977, 668）。商用機とは商品として販売することを目的に開発された計算機のことであるが、その基本仕様を提案し、実現のきっかけを作ったのは、統計数理研究所であったのである。

FACOM 128では主要な記憶装置にリレーではなく、自動交換機のクロスバースイッチの機構を応用した機械式の記憶装置（クロスバー型記憶装置）が新たに開発された。これにより、記憶容量は180語と大幅に拡張された。演算装置には様々な命令や演算機能が回路として組み込まれ、制御方式も改良された。リレーはETL Mark II用に開発された111号型が採用された。こうした改良により、FACOM 128はFACOM 100に比べて大幅な演算速度の向上を実現した（松山, 1955；松山, 1977, 666-668）。それにもかかわらず、FACOM 128で使用されたりレーの数は約5,000個であり、FACOM 100の約4,500個より若干増加するに留まった。クロスバー型記憶装置の採用により、リレーの使用個数の増大を最小限に抑えることができたことが、その要因であった。

数理統計研究所への納入に続いて、FACOM 128の2号機が1956年11月に有隣電機精機に納入された。有隣電機精機では「富士電算機計算所」という名称を掲げ、FACOM 128により、計算業務を受託する計算センター事業を開始した（加藤, 1957）。当時は民間でこのようなデジタル式の汎用の自動計算機を設置した計算センターがなかったため、「計算処理に悩んでいた大学、研究所の研究者、会社の技術者たちの計算依頼が殺到」（岡本・石井, 1978）したという。

その後、富士通ではFACOM 128の改良機である、FACOM 128Bを1958年5月に完成させた。これはキャノンカメラ、有隣電機精機、日本建設コンサルタント、日本大学などに納入された（富士通, 1964, 140）。さらに、FACOM 128Bを小型化・簡易化した、FACOM 138AやFACOM 318Aを開発し、商品化した。これらはカメラ・メーカーのレンズ設計用として多く使用されたという（松山, 1977, 668）。

5. むすび

以上のように、リレー式計算機は電気試験所や富士通によって製作され、1950年代後半に日本社会で利用されるようになった。

リレー式計算機の利用が始まったちょうど同じ時期、日本では機械接点のない素子であるパラメトロン式やトランジスタ式の計算機が開発が各所で進められていた。そのため、研究者や社会の関心はそうした素子のコンピュータ（プログラム内蔵式計算機）に急速に移っていく。1950年代末には大型機としてのリレー式計算機はもはや開発されず、リレーを用いた計算機は、小型機や専用機を除いては製作されなくなる。

しかし、本稿で見てきたように、リレー式計算機の登場によって、デジタル式の自動計算機が早期に日本社会で利用できるようになったことの意義は大きい。その過程では、メーカーとユーザーが互いに要求を出し合い、一体となって計算機を開発し、計算処理の利便性を高めて

いった。そうした姿は、その後のシステム開発の姿を先取りしており、リレー式計算機の時代に情報化社会の基礎が形作られたといえる。

また、日本では産官学の研究者たちが戦前・戦中・戦後と着実に研究や技術を蓄積し、リレー式計算機の開発につなげていった。リレー式計算機の開発では、海外からの影響よりも、国内での研究と技術の積み重ねが重要であった。そして、そうした努力の背後にあったのが、産官学の研究者たちの交流であり、官の支援であったといえよう。

参 考 文 献

- 青木洋 (1994) 「日本におけるコンピュータの産業化—研究者・技術者の活動を中心に—」, 『研究年報経済学』第56巻第1号, 87-104頁。
- 青木洋 (2001) 「第二次大戦中の計算機開発—日本と英米の比較考察—」, 『科学技術史』第5号, 1-40頁。
- 青木洋 (2007) 「学術研究会議の共同研究活動と科学動員の終局—戦中から戦後へ—」, 『科学技術史』第10号, 2007年10月, 1-40頁。
- 赤羽二郎 (1955) 「自動計算機FACOM-100を使用した計算の実例」, 『FUJI』第6巻第4号, 251-253頁。
- 安芸敏一 (1955) 「自動的に自己相関係数を計算するリレー式計算機」, 『FUJI』第6巻第4号, 226-228頁。
- 池田敏雄 (1955) 「リレー計算機の諸問題」, 『FUJI』第6巻第4号, 257-265頁。
- 岩井麟三 (1978) 「FACOM周辺機の生い立ち」, 『池田記念論文集—FACOM開発を中心として—』富士通株式会社, 27-32頁。
- 内山昭 (1983) 『計算機歴史物語』岩波書店。
- 岡本彬・石井康雄 (1978) 「FACOM128の思い出」, 『池田記念論文集—FACOM開発を中心として—』富士通株式会社, 42-49頁。
- 小川注連男・藤尾文三 (1955) 「電気計算機用60単位同時式鑽孔機および読取機について」, 『FUJI』第6巻第4号, 329-334頁。
- 尾見半左右 (1965) 「FACOMの思い出」, 『FUJITSU』第16巻第1号, 3-4頁。
『学術月報』1952-1953年。
- 加藤重義 (1957) 「電算センター発足記」, 『FUJI』第8巻第4号, 259-262頁。
- 喜安善市 (1971) 「わが国電子計算機の変遷—わが国計算機の黎明期—」, 『bit』第3巻第9号, 814-819頁。
『研究抄録』1948年。
- 後藤以紀 (1955) 「論理数学より自動計算機へ」, 『FUJI』第6巻第4号, 4-6頁。
- 駒宮安男 (1951) 「電気計算回路理論」, 『電気試験所研究報告』第526号。
- 駒宮安男 (1955a) 「電気試験所継電器式計数型自動計算機 E. T. L. Mark II」, 『電気雑誌OHM臨時増刊』第42巻第14号 (第507号), 105-125頁。
- 駒宮安男 (1955b) 「電気試験所継電器式計数型自動計算機 E. T. L. Mark II」, 『FUJI』第6巻第4号, 217-220頁。
- 駒宮安男 (1971) 「わが国最初のコンピュータ—ETL Mark I・IIの思い出—」, 『bit』第3巻第11号, 1033-1038頁。
- 駒宮安男 (1976) 「リレー式計算機 ETL Mark I, Mark II」, 『情報処理』第17巻第6号, 513-520頁。
- ゴールドスタイン, ハーマン・H (1979) 『計算機の歴史—パスカルからノイマンまで—』末包良太・米口肇・犬伏茂之訳, 共立出版 (H. H. Goldstine, *The Computer : From Pascal to von Neuman*, Princeton, Princeton University Press, 1972)。
- 佐々木達治郎 (1955) 「電気計算機について」, 『FUJI』第6巻第4号, 7頁。
- 佐藤亮策 (1955) 「富士電算機の思い出」, 『FUJI』第6巻第4号, 23-24頁。
- 沢井実 (2012) 『近代日本の研究開発体制』名古屋大学出版会。
- 塩川新助 (1944) 「二進法と継電器回路 (二進法概説)」, 『富士時報』第21巻第2号, 31-39頁。
- 塩川新助 (1955) 「富士電算機の歩み」, 『電気雑誌OHM臨時増刊』第42巻第14号 (第507号), 138-145頁。
- 塩川新助 (1970) 『数学への勧誘 III』東京電機大学出版局。
- 嶋津保次郎 (1943) 「継電器回路設計に関する一考察」, 『電気通信学会雑誌』1943年8月号, 575-587頁。
- 城憲三 (1947) 『数学機器総説』増進堂。
- 城憲三・牧之内三郎 (1953) 『計算機械』共立出版。
- 城憲三他 (1972) 「真空管式デジタル計算機試作の思い出」, 『bit』第4巻第2号, 113-117頁。

- 情報処理学会歴史特別委員会編 (1985)『日本のコンピュータの歴史』オーム社.
スイッチング回路理論編集委員会編 (1989)『スイッチング回路理論-日本電気における起源と発展-』日本電気株式会社.
- 高田重雄 (1951)「東京都庁新設の電気式分類集計機」,『FUJI』第2巻第3号, 95-108頁.
高田重雄 (1955)「富士リレー式計算機発展の20年をたどる」,『FUJI』第6巻第4号, 345-355頁.
電子通信学会編 (1967)『電子通信学会50年史』(社)電子通信学会.
東京大学百年史編集委員会編 (1987)『東京大学百年史 部局史3』東京大学出版会.
『特許発明明細書』1949年.
中川友長 (1948)『統計機械・統計計算要説』第一出版.
中嶋章 (1941)「継電器回路の理論」,『電気通信学会雑誌』第216号, 9-11頁 (通信技術展望).
中嶋章 (1970)「スイッチング回路網理論の思い出」,『電子通信学会誌』第53巻第12号, 1658-1661頁.
林知己夫・石田正次 (1955)「統計数値と計算機の重要性」,『FUJI』第6巻第4号, 221-225頁.
平野恭平 (2014)「戦前日本の化学繊維工業と化学技術者-応用化学科卒業生の分析を中心として-」,『技術と文明』第18巻第1号, 47-60頁.
平本厚編 (2014)「日本におけるイノベーション・システムとしての共同研究開発はいかに生まれたか-組織間連携の歴史分析-」ミネルヴァ書房.
『FUJI』1951, 1955年.
富士通信機製造株式会社 (1964)『社史』同社.
松本留義 (1951)「電気統計機について」,『FUJI』第2巻第3号, 87頁.
松山辰郎 (1955)「FACOM-128について-I.性能および構成-」,『FUJI』第6巻第4号, 277-288頁.
松山辰郎 (1977)「富士通における計算機開発の歴史」,『情報処理』第18巻第7号, 664-674頁.
文部省科学試験研究費による研究調査委員会 (1952)『昭和25年度文部省科学試験研究費研究報告集録-電気編-』日本学術振興会.
山口詔規 (1955)「リレー式自動計算機の基本回路について」,『FUJI』第6巻第4号, 266-276頁.
山下英男・佐藤亮策 (1944a)「高次代数方程式の光学的電気演算器」,『機械』第17巻第1号, 70-76頁.
山下英男・佐藤亮策 (1944b)「電気積分機」,『機械』第17巻第1号, 77-84頁.
山下英男他 (1948)「電気統計機」,『電気日本』第35巻第2号, 58-61頁.
山下英男他 (1950)「分類加算機」,『電気雑誌OHM』第37巻第1号 (第421号), 8-12頁.
山下英男 (1951)「電気統計機の完成に際して」,『FUJI』第2巻第3号, 85-86頁.
山下英男・佐藤亮策 (1952)「電気分類集計機」,『生産研究』第4巻第4号, 148-151頁.
山下英男 (1971)「わが国計算機の生い立ちと思い出」,『電子通信学会誌』第54巻第1号, 13-17頁.
山下英男 (1983)「東大在任中の思い出」,東京大学電気・電子工学科同窓会『諸先生のおもかげ (第二集) 東大電気工学科のあゆみ』コロナ社, 34-42頁.
山本卓真 (1978)「FACOMの誕生まで」,『池田記念論文集-FACOM開発を中心として-』富士通株式会社, 33-35頁.

[あおき ひろし 横浜国立大学大学院国際社会科学研究院教授]

[2015年3月2日受理]