

OR, そのみなもとをたずねる (Ⅲ)

岸 尚

戦後のOR活動をリードした ORSA が設立されたのは1952年で、英国におけるオペレーション・リサーチ・クラブの発足より4年遅れる。初代の会長をつとめた P. M. モース達が学会設立に当たって苦勞したのは、ORはIEやその前身である科学的管理法とはまったく異なった観点に立ち、まったく違った方法論を具えた研究活動だと主張せねばならなかったことであった。そのため、彼らは大変数学色濃い研究者集団としてOR学会を規定することになる。

科学的管理法は激動するアメリカ産業界のニーズに応え、ORより半世紀早く出現したわけだが、その科学的管理法にもまた先行する研究活動がある：科学的管理法普及の中心にあって、テラーと並び称される F. ギルブレスは大いに啓発された1冊の本として「機械および諸工場の経済について」を挙げる。ギルブレスはこの本を2冊買い求め、1冊は事務所に置き、1冊は片時も離さずもって歩き、暇あるごとにその頁を繰ると述懐している。では、ギルブレスが愛読した「機械および諸工場の経済について」とはどんな本だろうか。また、その著者バベジとはどういう人で、どのような経緯でこの仕事を残すことになったのか、辿って19世紀の英国まで遡るとき、われわれはそこに1人の天才を発見する。

Charles Babbage

チャールズ・バベジ。敢えて言うなら、デジタル・コンピューターを作る仕事を1世紀早く始めてしまった人物である。1792年、デヴォンシャの富裕な銀行家の家庭に生まれる。幼時は体が弱かったため、家庭教師について勉強をしたようである。生来好奇心が強く、鋭い質問で大人を困らせるようなこともしばしばだった。やがて数学に特別な興味を示し始める。1910年、ケンブリッジ大学トリニティ・カレッジに入学する。当時の英国の学問はやや停滞気味だった。バベジは大学の教師の学力に失望し、仲間の学生とアナリティカル・ソサイエティという1つのサークルを作り、英国の数学を大陸の数学



図1 チャールズ・バベジ

のレベルへ近づけるといふ、若者らしい改革運動を開始する。1814年に学士、1817年には修士の資格を得る。バベジの研究は、ところが、純粹から応用へと大きく変針することになる。それは、彼が置かれていた時代、すなわち、七つの海を支配する英国と、そのための航海技術革新という時代の要請と言える。

大航海時代の英雄達が世界の果まで行って帰ってきたことは、まことに驚嘆に値する。彼らが走らせた船そのものが不完全だった以上に、彼らが利用できた航海技術が地球の規模の航海に対してはあまりにも粗末だったからである。航海に必要な十分の精度をもつ時計、クロノメーターが初めて作られたのは1735年である。六分儀ですら1757年の発明とされている。いずれも英国人による発明である。

1767年になって、英国ではじめて航海暦が出版される。あたかもキャプテン・クックによる探検の時代に当たる。英国は各国にさきがけて、海図や潮汐表の整備のために組織的な努力を傾け始める。英国に世界で最初の

水路局が創設されたのが1795年である。また、この年、プリマス港に反射鏡を備えた最初の灯台が設置される。

バベジが六分儀の目盛を精密に刻む方法の考案に熱中したのも、このような時代の背景を考えれば自然に理解されるだろう。彼のこの考案は、類似のものがすでにあり、ものにならなかったらしい。しかし、航海暦に数多くの間違いが含まれていたことは、バベジを計算機製作へと猛進させる主要動機となった。

赤木昭夫氏によるバベジ紹介の記事[1]には、1792年に作成されたテーラーの対数表に含まれていた誤りの訂正に関する秀逸なエピソードが語られている。バベジが計算したところによると、この数表には19箇所の誤りがあることが判った。1832年版の航海暦にはその正誤表がつけられた。ところがこの正誤表にも誤りがあり、翌年、正誤表がさらにつけ加えられる。しかし、実はこの訂正自身が間違いであって、1836年版の航海暦には「テーラー対数表の誤りの誤りの誤り」がつけ加えられ、これではじめて一件落着いた、というのである。

当時の数表作製は大仕事で、18世紀末、フランス第1共和制のもとで行なわれた数表作製作業は最も斬新的なシステムであったが、ほぼつぎのような方法・手順で作業が進められたといわれる。

全メンバーは3つの段階のグループに分かれる。第1のグループは少数の数学者より成り、用いるべき数学手法や算式を決める。実際に手を下して数値を求めることはしない。第2のグループはかなり数学に精しい7~8名の人より成る。その任務は与えられた算式を用いて数値を求めるための効率的で間違いの少ない手順を確立して第3のグループに渡すことが1つ。さらに彼らが行なった計算結果をチェックすることが他の任務である。最後に、第3のグループは70~80名の計算手より成り、指定された手順に従って、機械的に、計算を実行する。この人達は初等的な算術が理解できれば十分である。

彼らは以上のような方法で800万個に及ぶ数値を計算し、2つ折り版17巻という数表を印刷する計画だったが、数表は遂に出版されずに終わってしまったのである。

機械および諸工場の経済について

バベジが狙ったのは、このような80名の計算手が行なう機械的な計算を人の代りに機械にやらせようということだった。さらにバベジの着想が卓抜なのは、機械に計算させるばかりでなく、結果の数値を出力するところまで機械にやらせてしまおうとしたことである。

自伝というものはしばしば虚偽を伝えるものだが、バベジは彼の計算機すなわち階差機関の製作はある日のうたたねに見た夢によってその着想を得た、と述べてい

る。その真偽はともかく、バベジは計算機械の設計と試作にとりかかる。

バベジは彼の計算機の原理として階差の方法を、実現手段として歯車機構を採用し、階差機関と名づける。ひな型の試作は1822年に一応完成する。同年、王立天文学会の会合でバベジは階差機関の構想を発表し、少なからぬ反響を得る。翌1823年にはこの発表に対し王立天文学会から金メダルが贈られる。

1823年、バベジは階差機関開発の資金援助を王立協会に要請し、検討委員会はバベジの計画を認める。大蔵大臣と会見し、話合いの結果、1万5000ポンドが支出される運びとなる。階差は第1から第6階差まで、各20桁という階差機関の計画がスタートする。

しかし、この大計画は、流産に終るのである。父親、妻、2人の子供と肉親をつぎつぎ失うという家庭的な不幸があり、さらに、機関の工作を依頼した技術者との意見の衝突があったりして、バベジの階差機関は遂に完成に至らなかった。それはバベジの設計が間違っていたからではない。計画が壮大過ぎたためである。後にストックホルムのG. シュッツという人がこの計画に興味を抱き、スウェーデン政府の援助のもとに、階差4、各14桁と規模を縮小した階差機関を製作し、1854年に完成させる。この機械は1855年にパリで展示され、金牌を受ける。シュッツ階差機関は、その後アメリカ人の実業家に買上げられる。ダッドレー天文台に寄付され、天文暦の計算に大いに利用されたと言われる。

さて1823年に戻ろう。政府の資金援助も得られることになったので、バベジは階差機関の歯車機構の製作のため、各所の作業所・工場の工作技術を調査し始める。上述のように家庭の不幸が重なったため、すすめられて、1827年には外国を旅行する。その間にも、知的好奇心の旺盛なバベジは諸外国の工場について、少なからぬ知見を得たようである。

1828年、旅先のバベジは、ケンブリッジ大学のルカシアン・プロフェッサーという名誉ある教授職に任命されたことを報される。帰国して講義の準備をする傍ら、かねて依頼されていた百科事典の機械の部のための執筆を始めるが、ケンブリッジの講義内容と合せて1本にまとめることにする。これが「機械および諸工場の経済について」である。1832年出版。類書がなかったため好評を以て迎えられ、幾度も版を改め、また外国語にも翻訳・出版される。

この本は2部、35章、約400頁より成る[2][3]。第1部では生産技術の面から、第2部では経営経済の面から経営の一般原則を明らかにしようと努めており、そこにわれわれは、のちに始まる科学的管理法の技法やOR

の発想の萌芽を発見することができる。たとえば、ピン製造工程の原価分析は時間研究にもとづいて展開されており、ショベルの動作研究については、テーラーの研究に50年先行して、すでにこの本にアイデアが述べられているのである。

郵便の均一料金制度はバベジに負うのだが、郵便物が投函されてから宛先の家庭に届くまでに要するコストの分析がこの本に述べられている。バベジは調査の結果、郵便物の集配と局における消印・仕分け業務のコストが大部分を占め、A町の郵便局からB市の局まで輸送する費用が占める割合は比較的小さいことを発見し、料金の均一制を提案する。すぐれてOR的な研究であると言える。

バベジのこの書物は直接・間接に科学的管理法に対し影響を及ぼす。ギルブレスの愛読書だったことはすでに指摘した通りである。しかし、テーラーは、バベジの研究を知らないと言い張る。この件については後に再び触れる。

早過ぎた計画

バベジの知的興味は多方面にわたり、多くの考案を残している。火山に興味をもったり、潜水艇というものに関心を抱いたりしており、また鉄道については鉄道会社の技師長をしていた友人のために実地調査をしたり測定装置を作ったりしている。あるときバベジが乗ったトロッコが高架橋の途中で止まってしまった。ぐずぐずしていると列車がやってくる。バベジはどうしたか？ 上衣を脱ぎ、両手でそれを帆のように拵げたのである。トロッコは無事に橋を渡り切った。

バベジは、今の言葉で言えば、情報科学的な特色をもつ問題にとりわけ興味をそそられたようである。錠前や暗号の研究に熱中した時期がある。バベジはまた灯台の光を明滅させることによってAの灯台をBの灯台と区別したり、灯台までの距離を大まかに知らせるという考案をした。

1851年の博覧会に当たり、バベジは明滅灯台の模型を作って外人に見せる。何人かの人が興味を抱き、ことに米国ではこのアイデアを強く推す人があって、採用計画案は議会にまでもち込まれる。リード教授という人も熱心な支持者の1人で、ロンドンを訪れ、帰国する自分と一緒に米国を訪問して計画の後押しをしてくれないかとバベジを誘う。しかし、リード教授はバベジに断られ、失望のうちにロンドンを離れる。リード教授が乗ったアーケティック号は大西洋をほとんど渡り切った辺りで火山と衝突し、リードさんも船と運命を共にした。

バベジの明滅灯台のアイデアを熱心にメモする1人の

軍人があった。メモは急拠、本国に送られる。まもなく、クリミア戦争が始まる。ロシアは明滅灯台を採用する最初の国となった[4]。

階差機関の製作が進捗しなかった理由の1つは、バベジの頭につきつぎと浮かんでくるアイデアのために、いったんたてた計画がしばしば変更されるためでもあった。1833年に階差機関の計画が頓挫した後間もなく、バベジは新しい構想の計算機、解析機関、の計画を発表する。

解析機関は基本的には階差を利用する歯車式の計算機だが、穿孔したカードを利用し、指定した順序に従って演算を実行させることができるという新機軸によって、階差機関よりさらに1段階進んだ計算機であった。バベジが推算した演算処理速度は、加減算1秒、乗除算1分であり、記憶容量としては10進数1000個を計画していた。後に1944年にハーバード大学で完成したリレー式計算機のメモリーでも10進数約1500個であったから、バベジの計画が当時としてはいかに破天荒であったかがわかるというものである。アイデアはすばらしかったが、解析機関も遂に実現に至らなかった。この天才は1世紀早く、デジタル型計算機の建設を計画してしまったのである。

英国は科学においておくれをとっている、という焦燥感が常にバベジの胸の内であった。王立協会が形骸化し期待される寄与をしていないことを慨嘆し、王立協会刷新案を提出するのは1830年のことである。互いに因となり果となったことであろう。王立協会はバベジの計算機建設に冷淡であった。

バベジは志を得ず、次第に気むずかしい老人となり、ロンドンの街と人を嫌うようになった。辻音楽師がオルガンを弾き始めると、バベジは苛立つ。せっかくまとまりかかってきた考えが崩れてしまうではないか、と。街角のオルガン演奏を禁止させようと新聞に投書したり、果ては議員に訴えたりする。しかし、人々はバベジのことを、一風変わったうるさがたとしか考えなかった。

バベジは8人の子供をもったが、残ったのは3人の息子だけであった。1871年10月、バベジは高熱に倒れる。18日になって意識は混濁し、息子の名前をひとこと呟いて、息をひきとった。タイムズ紙はバベジの死を報ずる。オルガンの音に悩まされながらも、ほぼ80才まで生きた男が昨日死んだ……、と。

独白風に

リーダーのオペレーショナル・リサーチに思い至ったティザードを出発点に、過去に遡ってテーラーやバベジ達の人となりや業績を、とくにそれらが生み出される環

境条件に注意を払いながら、ひとまず訪ね終ってここに戻ってきた。この小旅行は一種の気晴らしなので、堅苦しい出張報告の類はお赦しいただきたいと思う。とはいえ、旅行の間中、筆者の頭の隅では2、3のライトモチーフが鳴り続けていたと思う。正確にそれを伝えることはむずかしいけれども、その印象を記録してみたいと思う。

ORにせよ科学的管理法にせよ、バベジによるその先駆にせよ、それらの活動・事業が始まるには、それなりの強いニーズがあったに違いない。そして、それらのニーズについては概略説明することができたと思う。

事業は人なりと言う。ニーズがあっても、人物が居ないところに然るべき活動が興ることはない。言い換えれば、活動・事業がどんな性格で何を達成することができるかはその中心に座る人物の器量によって、おのずから定まってしまう。これは決定的な“法則”だと思う。今回の執筆で最も筆が重かったのはテラーに関してであった。何度も書き直したが、出来上りは一番みじめだったと思っている。

テラーの人となりや科学的管理法の歴史については資料は決して少ないわけではないのだが、寂然としない節が少なくない。たとえばバベジの著書「機械および諸工場の経済について」とテラーの時間研究の間の関連である。テラーは間接的であってもバベジの研究の影響を受けたと考えたいのだが、テラーはこのことを人から聞かれてにべもなく否定し、自分の時間研究はエクゼター校の生徒だったときの体験にもとづく主張する。数学の先生が出される宿題はいつも2時間かけてちょうどできる分量であり、それは解答を作るのに必要な時間を、先生が事前に計ったうえで出題されるためとわかり、これがヒントになったのだ、という。多分本当であろう。しかし、テラーの主張を疑っている研究者もあるらしい。

テラーという人は強い個性の人物だったようだ。傍若無人のバベジとも、また違う。バベジは真理の前には大変素直だが、テラーは真理に対してでも昂然と顔をあげて、これに逆うことのできる人だ。また、それ位の人でなければ科学的管理法を推進させることは、とてもできなかっただろう。

テラーに関しては専門の間でも甲論・乙駁が続いているらしい。S. カカール[5]はテラーの性格の心理学的分析を試み、テラー観に新しい視点を与えている。筆者もこのテラー観に大いに惹かれたけれども、自信がないので旧来のイメージを紹介するに止めた。

実現可能性ということ

ニーズがあり、幸い事業を推進させる人物を得ても、そのねらいが妥当でなければ計画は頓挫する。すなわち目標をほど良い射程に選ぶことが成功の必要条件である。バベジは天才ゆえに、この照準を誤った。惜しかったと思わずには居れない。

ヒットラーの空軍を迎え撃つためにというニーズが英国にレーダーという兵器を思いつかせた。実現法が検討される。レーダーに関しては、その方法、すなわち電波技術はかなり進んでいたこと、はじめに指摘したとおりである。

戦争にレーダーを間に合わせなければならない。試行錯誤のための時間は残されていない。その必要がティザードにオペレーショナル・リサーチを思いつかせた。オペレーショナル・リサーチの方法論となるべきものは、しかし、無いも同然だったといえる。彼らが、これといった方法をもつこともなく、成功したのは何故か？ その理由は一般の人物が活動に参加し、祖国の危急とあって、軍人もよく心を開き、互いに協力し合ったためであろう。

それではテラーの場合はどうか？ 激動期の米国内産業界にあっては、質の悪い労働者を管理して最大の生産高をあげることが、生き残るための厳しい条件であった。この条件が科学的管理法を要求した。しかし、テラーは科学的管理法によって何を実現しようとしたのか。また、それは実現可能だったのだろうか？

テラーの発想の基本はこうである：労使双方から見ても公平な仕事量が存在するはずで、それがわかりさえすれば、労使間の平和と調和は実現されるだろう。公正な仕事量を科学的に求める必要がある。

公正な仕事量を科学的に求める。この言葉は耳に快く響くけれども、一体、科学的とは何か？ また、科学に裏づけられた公正な仕事量なるものが、労使双方の相反する希望を調整・納得させる切札となるというが、その仕組みは自明だろうか？

テラーは切削法の研究という不朽の業績を残した。そこでは、テラーは切削の効率に関係する12の要因を選び、要因と効率の間の因果関係を徹底的に追及したわけだが、これらの12要因はすべて物理的条件であって人的要因ではないことに注意しよう。切削法の研究におけるこの慎重さ、この丹念さ。より複雑な人的要因を多数含む“公平な仕事量”を決定すると主張するときのテラーのこの大胆さ、この粗雑さ。とても同一人物とは思えない際立った対照がそこにある。

同じ科学という名で呼ばれるけれども、機械の科学と



A. K. ERLANG
1878 - 1929

図 2 A. K. アーラン

人間の科学とでは、それらの方法論の間にはほとんど深淵とでもいうべきギャップが横たわっている。テーラーはそのことを意識しなかったのだろうか？ 人間の科学のための方法論が未成熟のまま、科学的な管理の実施を急いだ彼らに種々の災厄が降りかかったのも、むしろ当然というべきではなかっただろうか？

レーダーの開発がきっかけとなってORという活動が始まり、さて戦争が終って米国ではORを社会的に認めさせようと、モース達が学会設立のため奔走を始める。このとき、彼らは自分達の研究活動を特性づける方法論として、一群の数学的手法をとり上げないわけにはいかなかった。有望にみえるいくつかの数学手法が待機中であり、他に有望なものもなかったからである。

戦争中のOR活動には野外科学とでもいうべき性格があり、これを無視してORの健全な発達と成熟は望めないだろう。野外科学としてのOR。しかし、その方法論として、射程内に見えるものはなかったと言って良い。彼らは待機中の数学手法を選んだ。

夏畑冬扇

どのような研究が、何時、時代の脚光を浴びることになるかは予知し難い。ニーズが発生し、方法が捜し求められる。ここに無用の研究や、今までまったく無縁だった分野の研究が見出され、重要な研究として喧伝されるようになる。戦後の研究管理はこのように有用な研究を進展させることにのみ関心が強かった。しかし、ニーズが発生し、必要とわかった後の研究の展開もさることながら、無用の研究あるいは目立たない研究をどのように支持・支援するのが良いかという問題にもわれわれは思いをいたすべきではないだろうか。有用の研究のために

多額の資金を投じ、すぐれた頭脳を研究に巻き込む。良い成果が上がる場合ももちろんあるだろうが、一見有用、しかし、なくても済む研究のために、すぐれた頭脳を動員し、ただ疲れさせる結果に終ることも決して少なくないだろう。

すぐれた頭脳には静かな環境を与え、その知的好奇心の赴くままに研究を楽しませる。有用の研究であることを要求しない。それが文化というものであろう。しかもそれは迂遠にみえて、実はかえって捷徑であるかも知れない。このような研究が、かえって、ことあるときに有用の研究に大いに裨益するのである。

1948年、すなわちオペレーショナル・リサーチ・クラブが誕生する頃、英国王立航空学会誌を賑わせている変わった話題があった。それは空港における輻輳現象の分析に関する研究であった。英国は戦後、初のジェット・ライナーを飛ばせたばかりでなく、他国にさきがけて空港のオペレーショナル・リサーチに手をつけたのである。この動きがやがて1951年のD. G. ケンドールの論文を誘い、待ち行列理論流行のきっかけを作ることになる。

輻輳現象の確率論的分析：ORの1つの重要な手法となったこの問題は、しかし、1948年ににわかに始まったわけではない。それどころか、電話交換という1つの技術の分野で輻輳理論は古い歴史をもっており、この時点ではすでに相当の完成度にまで達していた。このような前史があったからこそ、電話交換の輻輳理論を含み、他の輻輳現象も覆い、数学的にはより厳密・より一般的な待ち行列理論の研究が一挙に花開くことになるのである。

待ち行列論より40年早く電話交換の輻輳理論は始まるのだが、その開拓者といわれるアーランとはどんな人物だろうか [6]。

A. K. Erlang

A. K. アーランはデンマーク人。1878年1月1日ユトランド半島のレーンボルグに生まれた。父親は小学校の校長先生である。母親の家系は知名度の高い聖職者の家系で、代々コペンハーゲン大学教授を輩出している。2才上の兄と2人の妹があった。なお、生年の1878年は、グラハム・ベルによる電話器の発明の2年後に当たる。

幼少の頃からおとなしい、理解が早く聡明な子だったようである。本が好きで、夕方、兄が本を読むときには必ずその向いに坐り、兄と一緒に、ということは逆さの向きからだか、その本を読むのが常であったといわれる。天文学愛好者だった祖父の影響を受け、少年時代は天文学に興味をもったらしい。

学校に上った少年は、すぐれた素質を示す。教師の経済力では子供を大学まで進めるのは容易でない。両親は心を痛めるが、遠縁の親戚の助力もあり、特待生に選ばれてコペンハーゲン大学に学ぶことになる。専攻は数学。副専攻は天文学、物理学、および化学であった。卒業は1901年である。

卒業後いくつかの学校の教師を勤めるかわら、若手のサークルで余暇を過ごす。このサークルの中にH. C. ニベールがいた。のちにコペンハーゲン大学の統計学教授となった人である。アーランとニベールの友情は終世かわることなく、仕事の上で互いに力になり合ったばかりか、私的には、ニベールの妹はアーランの兄と結婚するという間柄でもあった。

アーランは数学者協会のメンバーの1人として、定期的な会合の手伝いをしていたが、その会合で有名な数学者J. L. W. V. イェンセン博士と知り合う。イェンセンはコペンハーゲン電話会社の技師長兼技術部長であった。アーランはこの縁で取締役のFr. ヨハンセンに紹介される。ヨハンセンはかねて会社に科学研究所を設置する構想を抱き、これを温め続けていたのだが、アーランに会って気持が決まる。1908年、研究所を新設し、所長にアーランを招く、ときにアーランは30才であった。

鳴物入りで囃したてれば、それだけ研究が進むというものではない。独創的な研究は、しばしば、欲が深い人なら見向きもしないようなところで、気の短かい人ならもう忘れてしまった頃に、ひそやかに生まれるものなのだ。戦後の研究管理には、研究はもっと静かな環境に育つのではないか、自分達の方法は間違っていないかという、人間的な迷いが欠けていると思う。人を得、心のゆとりある環境を整え、正しく動機づける。研究者を遇する術については、古い時代の管理者のほうがかえって心得ていたように思うが、どうだろう。

電話事業は今世紀に入って目覚ましい発達を遂げつつあった。トップを切るのは米国で、普及度は1910年において、すでに人口100人に対し8台というレベルに達していた。スカンジナビア諸国の普及度は米国につき、世界で2位という位置を占める。デンマークの電話事業の中心的な存在がコペンハーゲン電話会社であった。

電話交換問題を確率論的に検討するという着想を得た最初の人物はヨハンセン取締役その人である。1807年、Waiting Times and Number of Calls という題のエッセーを発表する。ヨハンセンはこの種の問題を、数学的により厳密に扱ってみる価値があると思うのだが……と、アーランに水を向ける。電話の輻輳理論の父は、だ

から、ヨハンセンだと言っても良い。

1909年、アーランはさっそく論文を発表する。アーランの名を不朽にした仕事は1917年に発表された“Solution of some Problems in the Theory of Probabilities of Significance in Automatic Telephone Exchanges”である。この論文の中でアーランは有名な呼損の公式、待ち時間の公式を与えた。なお、この論文ははじめデンマーク語で書かれたが、後に英語に訳され、諸外国でもこの研究を活用することになる。アーランのこの研究が輻輳理論の活発な研究のスタート台となった。

アーランはきわめて内気な性格で、決して出しゃばることをしなかった。真摯なクリスチャンで、酒も煙草も嗜まなかった。かといって、明るいウィットにはこと欠かなかったという。子供好きだったが、終生独身を通し、これも独身の、末の妹と一緒に暮した。

研究所には約20年勤めたことになる。その間1日も休むことはなかった。1929年1月病を得、手術が必要とわかる。研究所に寄り、ちょっと入院してくるから、と同僚に挨拶し病院に向かう。そして、それが別れとなった。2月3日、病院で死去。享年51才であった。親友のニベールが追悼文を書く。その冒頭に、ローマの詩人オウィディウスの悲歌より1行を引用していわく、

ひとしらずして はじめていのちながし。

参考文献

- [1] 赤木昭夫, “チャールズ・バベジ1,” bit, Vol. 2, No.4, 311—318 (1960).
- [2] 今井 忍, “チャールズ・バベジの思想とその業績,” 成蹊大学経済学部論集, 第4巻, 第2号, 40—54(1974).
- [3] 佐藤正雄, “原価管理研究序論——チャールズ・バベジの研究——,” 成蹊大学経済学部論集, 第8巻, 第2号, 48—66 (1978).
- [4] Morrison, P, and E. Morrison (ed.), *Charles Babbage and his Calculating Engines*, Dover Publications, Inc. 1961.
- [5] Kakar, S., *Frederick Taylor: A Study in Personality and Innovation*, MIT Press, 1970.
- [6] Brockmeyer, E., H.L. Halstrøm, and A. Jensen, “The Life and Works of A. K. Erlang,” *Transactions of the Danish Academy of Technical Sciences*, No.2 (1968).

(きし・たかし 防衛大学校 応用物理学教室)