

# Heinrich Hertz の生涯と業績

——その50年忌に——

天野 清

電磁波の発見者として学界の視聴を一身に集めていた鬼才 Heinrich Hertz が前途の期待も空しく 37 歳の働き盛りで夭折したのは 1894 年 1 月 1 日であった。歲月移って正に半世紀、この間科学の飛躍的發展は Hertz の業績を古典的歴史的なものとしてしまった。しかも世界史の転換に科学者の挺身一段と要望される此時に当って、先駆者 Herz の足跡を回顧して学徒の研学の糧としたい。

## 1 生い立

Heinrich Rudolf Hertz は 1857 年 2 月 22 日ドイツ Hamburg に当時弁護士(後に市参事会員となった) Gustav Hertz の長男として生れた。彼の母がものした回想記に依ると、難産で半死の状態で生れたという。幼時から智慧が早く記憶力が良く物事に熱中する風があり、10 箇月目のクリスマスに叔父が贈った美しい絵本を一枚一枚眺めて何時間も倦むことなく、画中の風物を良く覚えて決して本を玩具にしたり破いたりしなかった。表情に乏しい蒼白い子供で美しくはなかったので他人には格別に思われなかったが、3 歳の頃にはお伽話の本など正しく暗誦した。1863 年当時の Hamburg の風習で私立学校に入ったが極めて熱心に勉強し優秀な才能と相俟って、校長の Dr. W. Lange は ‘etwas ganz Besonderes’ が彼に依って起るだろう、と予言していた。義務の感情は特に著しかったといわれる。或時教師が級中で ‘der Klügste und geschichteste’ は誰かと問うたとき級友一同は Heins を指さしたので椅子の下に入りたい程はずか愧しかったという。手先が器用で、水車や百姓家の模型を作ったり、粘土をこねて塑像を作り、それを見た医者が ‘お宅の Michelangelo は何方ですか’ と驚いたこともある。画も上手で殊に幾何学的に正確なのが得意であったが、音楽の才はなかったようである。

10 歳の時から課外に工芸学校にも通い成績も良いので校長は両親を訪ねて数学を勉強させるように勧めた。しかし Heins は後で母に ‘Nein, das möchte ich nicht,

Mathematiker eine so abstrakte Wissenschaft, in die man sich ganz vertiefen muss, und ich will doch so gerne mit den Menschen leben,' と返事したという。翌年のクリスマスには鉋かけ台と工具類を貰って好んで種々の器具類を工作していたので、1871年頃 Dr. Lange の学校が古典科と理数科に分れた際には、Heins は器用だから技師になった方がよからうというので後者を選んだ。しかし他の科のものが自分の知らないことを覚えるというので彼は別に個人教授を受けて古典語を勉強したが、翌年にはこの Lange の学校を卒えた。しかし学間に余り熱心なので Hamburg の有名な人文主義ギムナジウム Johanneum の上級に入り、ギリシヤ語、ラテン語及び数学を学び、日曜には相変らず工芸学校へ通っていた。旋盤をもらい旋盤師の Schulz に習って頗る上達し分光器まで自分で作った位であったので、後年大学教授になった折、母が 'Ach, wie schade, was wäre das für ein Drechsler geworden!' と冗談を言った。

父なる人はユダヤ系であったが頗る多方面の知識を有し、子弟の教育に優れた人であった。子供等も父を信頼し少しも畏怖の感情をもたず、Heinrich は後年母に語って、多数の有能な人物を知ったが父の如く確実な眼識と広い教養を備えた人には出会わなかったと言った位である。1873年の夏父達とチロル高原に旅行した折にも Heinrich はポケットに Homer の原典を携えて行き、休憩する時にはいつもそれに読み耽った。成年になっても Homer や Dante を好み、独りのときには声高く朗読し、何頁も暗誦することが出来た。翌年には街頭の商人からアラビア語の文法書を購入し専門家について学んだが、サンスクリットにも習熟し、その教師は Heinrich がいつかは此の方面で偉れた業績を挙げるであろうから是非東洋学者か言語学者にさせるように熱心に勧めた程語学の才を発揮した。

## 2 土木技師修業時代

Heinrich は 1875 年の復活祭に Johanneum を卒業したが、それに先だち自ら次のような目論見を日記に書き付けた。"卒業試験に合格したら Frankfurt a. M. に行き、プロシヤの建築師の許で 1 年見習い、後に工科の国家試験を受ける下地を作ろう。此の職業が自分に不適當と分るか、自然科学への嗜好がもっと成長した場合に初めて自分は純粹自然科学に専心しよう。自分の最も有能なことに従うことは神がはからって下さるであろう。"と、此の言葉はまことに彼の後年の運命を予

言したものとなった。Hertz が工科を選んだ理由について Helmholtz は次のように想像している。謙抑で内気なのは後年にも Hertz の性格の特徴であったが、このような性格で特に優れた才能を有する若者は高い目標を成就する困難さを明白に意識して居るので、まず実際的な仕事で自分の力を試し自信を得ようとするものである。Hertz もまず自分の好む機械の仕事に従事した方が成功が確実だと考えたのであろう。また Hertz の郷里 Hamburg の実際的な考え方にも影響されたのであろうと。国家統一直後のドイツに於て産業の前途は敏感な青年に確実な将来を約束したのである。

かくて Hertz は予定の如く Frankfurt a. M. に行き、新しい Main 橋の設計に無給見習として市の建築事務所で働いた。この若い土木見習技師は休日にも旅行せず Euripides の劇や Platon の “国家” を読んでいたことが両親への手紙で知られる。日記には Wüllner の物理を読んでまた自然科学が勉強したくなったと記している。その後 1 年、Hertz は Dresden の Polytechnikum に移って一学期を勉強したが、その初めの 1876 年 5 月から 6 月頃の日記に、Königsberger 教授の解析力学は自分にはまだ難しすぎるとか、既知函数の積分が既知函数になるかどうかを考えていたところ 1 度 Königsberger がその問題を講義してはっきりした。物理学史の序論は興味深いとか、或は数学は今や自分の主要な仕事になったとか、図書館から Kant の “Kritik der reinen Vernunft” を借りて来て旬日にわたって読んでいたことが、‘Den 10. Juni. Kant gelesen, Über Raum und Zeit’ などと簡単に記されている。後年遺著となった “力学原理” には Kant の影響が著しいが、この頃の勉学に萌芽があったのであろうか。次いで Berlin へ 1 年志願兵として赴き国有化時代の鉄道聯隊に兵隊を終えたが、この時は全く休みなく働かされた模様である。かくて 1877 年の秋 20 歳にして München の Polytechnikum へと入学した。

### 3 München にて

工学修業の目的で München に来た Hertz は両親に到着を知らせて後数日ならずして再び筆をとり、自然科学研究の志望断ち難い悶々の情を父に訴えたのであった。彼が技術者となるためには数学や自然科学の純粋な研究は断念しなければならぬという事実直面したとき、深く反省すれば München へ来たのは地形図や建築構造、材料等を聴きたいのではなく無意識の中に数学や自然科学を聴講したい

からであったことが突如として認識されたのである。“私は以前に偉い技術者よりは偉い自然研究者になりたいが、しかし平凡な自然研究者よりは寧ろ平凡な技術者たる方がましだと屢々自分で言っていたことを思い出して反省しました。しかもこの土壇場に來た今にして私は (Und setzt Ihr nicht das Leben ein, nie wird Euch das Leben gewonnen sein.) という Schiller の言葉の真実なるを思い、過度の慎重さは愚かなりと悟ったのであります。技術者になれば差当りパンを獲るにも確実であることは自ら隠しません。……しかし結局のところ一つのことは確かです。それは自然科学ならば真剣に専心でき、それで自ら満足も得られると感じますが、人のいわゆる工学 (Ingenieurwissenschaften) なるものには満足できず、それでいつまでも他の仕事を求めるだろうという事です。……私はこの点に於て自ら欺いていないことを冀<sup>こいねが</sup>います。……しかし私は自然科学をやれば工科の学問を懐<sup>る</sup>しむことはないと思いますが、もし技術者になればいつ迄も自然科学に憧<sup>る</sup>れることでしょう。その学問が試験を受けるのに役立つだけだというのは堪え難いことです。……敬愛する父上、貴方の忠告ではなく裁断をお願いします” など縷々として衷情を吐露したのであった。時代は自由主義を反映して個性の尊重が高唱された頃である。国家至上の要請あるとき天職の選択にも一片の私心を差挟むべからざる我々の立場とは同日にして論じることが出来ぬ。しかもこの青年 Hertz の悩みは嘗ては幾度か我が国の少壮学徒にも経験せられたところであろう。

良き父の返事は息子の期待したとおりであった。Heinlich は早速この許可に感謝し、大学教授 P. v. Jolly の許に赴いて勉学の方針を尋ねた旨を報じている。この v. Jolly は ‘Die Prinzipien der Mechanik’ (1852) の名著あり、Heidelberg では Kirchhoff の前任者として夙<sup>つと</sup>に物理実験所を開設し令名ある人、Max Planck もこの人に学んで Hertz と入れ代りにここを卒業したのであった。Jolly は Hertz に訓え、数学と力学をいわば歴史的に、Lagrange, Laplace 其他の古典的に優れたテキストを手に入れて研究するように勧めた。これこそ正に Hertz の願うところであった。そこで彼はまず 4 巻の部厚な素晴しく美しい Montucla の ‘数学史’ を精読し始めたが殆んど苦勞せずに進んだ。“現在の数学は非常に多数の雑誌に散見されるので、その聯関を知り概観するためには原典から出発する外はありません。すべて新しい (1830 年以降の) 数学は物理学者には大した価値はないと思われま

に美しいけれども少くも個々の部分ではあまりに抽象的で事実と関係がないように見えます。たとえば非ユークリッド幾何学が三角形の角が  $2R$  でなくともよいという前提から出発したり、四次元、五次元或はそれ以上の次元の空間を取扱う幾何学などです。既に楕円函数にしてからが応用には無価値です。けれど恐らく私が思い違いをしているのでしよう”と報じているのも興深い。12月の始めには Wüller の実験物理の名著を 42 マルクで買ったと言っているが、ともかくこれから翌年にかけて、前記の Montucla をはじめ *Mechanique analytique* など Lagrange や Poisson の著書に親しみ、変分を勉強し、早くも力学の原理や、力、時間、空間、運動等の概念、虚数の意味や無限に就て一心に勉強している。Newton の *Opuscula* を 10 マルクで求めたが、Leibniz 其他との往復書簡など微積分発見当時のものは殊に面白く、*Acta eruditorum* の第 1 巻を繙いては特に Leibniz の論文に後に発展したあらゆる科学の殆んど目に見えぬ萌芽がそこに存するのを見、深い印象を受け “未だ多数の新しい事実が残っていた当時に生れなかったことを実際幾度か残念に思いました。勿論今日でも未知のことは十分ありますが望遠鏡や顕微鏡がまだ新しかったあの時代のように全世界観を変革するような事実が今でも容易に発見されるとは信じられません。しかしこの感情も一部は誤っているかも知れませんが、全然理由がないとは思われないのです。このような事柄は母上には興味がないかも知れませんが、私が読むことは私が体験することです”などと青年らしく報じている。これら München 時代の Hertz の考え方には、物理学の大綱は既に完成して残るは細部の仕上げのみであると Planck に語ったという師 Jolly の影響も少くなかったのであろう。

かようにして München では大学の Jolly の講義と Polytechnikum の Beetz 教授のと両方聴講していたようであるが、1878 年の秋、磁石の遠隔作用の実験を試みたのを最後に、Helmholtz 及び Kirchhoff の弟子となるために Berlin へ赴いた。

#### 4 Berlin 大学学生時代

Hertz が Berlin に着いてから暫くして大学の掲示板をしらべていると彼の視線は哲学部の掲示に止った。それは物理学に関する懸賞問題であった。Helmholz の回顧によると彼が Hertz を初めて知ったのは、彼の指導していた大学の物理実験所の実習生としてであったが、既に初歩の練習問題をさせている間にも全く異常

な天賦の才ある学生であると認めた。そしてこの夏学期の終りに Helmholtz は物理の懸賞問題を提出する役に当たったので彼は電気力学の問題を選んだが、これは Hertz がそれに興味をもち、見事に取扱うであろうとの予想下にしたことだという (Lenard はこれは別の問題だと解している)。Hertz は当時の模様を例によって両親への手紙で詳しく報じている。その中には講義が Kirchhoff のから始まり内容は既知であるが実に楽しいこと、懸賞問題の実験を決意して Helmholtz 教授と話したが、先生は文献等を指示するほか、実験中も毎日一寸見廻って来ては極めて親切に指導して呉れることなどが記されている。

そもそも当時のドイツにあっては多勢の物理学者は W. Weber の仮説から電気力学の基本法則を導いていたが、それは Newton の直接に作用する遠隔力を電磁気へ移したものと云える。F. Neumann, その子 C. Neumann, Riemann, Grossmann, Clausius 等の学者は運動する電気量の速度の影響により Coulomb 力を修正する説をそれぞれに提出していたが、何れも根本に於ては遠隔作用論に従っていた。Weber の説では電流中には微細な、質量をもつ正負の電気流体が等速等密度で逆方向に流れ、その活力は電気の運動のエネルギーとして附加され、そのため自己誘導係数は一定値だけ大きくなる筈であった。この部分は勿論通常の誘導によるものとは区別せねばならぬが、この運動電気の質量にのみ比例する真の慣性は電気振動の遅緩となって認識される筈である。そこで Helmholtz は電流が逆方向に流れるように二重にした蔓巻線を利用してこれを実験すれば慣性の上限を知り得るであろうと考え、これは懸賞問題中にも提示したのである。元来 Weber の仮説に信を置かなかった Helmholtz 及び Hertz にとっては否定的な結果しか期待できぬ実験であったし、1日の大部分の仕事は、物理の実験的研究に従事した人が誰でも知っているように、極めてつまらぬ、少くとも針金仕上げなどの余り学ぶところのないことであったし、観測もそれ自体としては非常に愉快というわけではなかった。“それで自分の学識にまだ非常な缺陷があるのにこんな事に余計な時間をかけているのは一体正しいだろうか幾らか疑問にもなります。しかしそれにも拘らず私はこの仕事をしないで済まそうとは思いません。このように自然自身から自分や他人のために忠告を受ける方が、いつも他人から自分独りの為に学ぶよりどれ程大きな満足が与えられるか言い表わせない位です。私が書物から勉強

している間は、社会の一員として全く余計なものではないかという感情が去りません。……”と München 時代とはまた異った感懐を洩している。

さてこの実験は翌 1879 年 1 月一杯で予想よりも早く、また Helmholtz の提示した蔓巻線に依るものの外、直線の導体により更に精密な結果を得、結局慣性による Extrastrom なるものが存在するにせよ、それは誘導電流の  $1/250$  以下であって、殆んど実験誤差の範囲であることを結論し得たのである。この論文は Hertz が Freiburg で軍隊の演習中に書き上げたもので、21 歳の青年の業績とは信じられないような驚嘆すべきものであり、その内容は Hertz 全集の巻頭にある論文‘電流の運動エネルギーの上限を決定する実験’(1880) と本質的には同一である(発表雑誌は全集が比較的容易に見られるから省略する)。

我々は Hertz が自分の研究過程を両親へ詳細に報告している中に、彼の研究で当然必要な理論的展開の困難さに就ては一語も触れていないのを Lenard と共に意外とするのであるが、この事実は当時の彼が学界既知の範囲を見渡すだけの準備を有しなかったので愈々その感を深くする。これは明かに彼は此の頃既に他人の業績を苦しんで捜すことなく自分の知らぬ領域へ独力で極めて迅速に道を拓いて行ったことを示すものである。その一証として当時の手紙に“Kirchhoff の講義も丁度磁気に入りましたが、その大部分は私が昨秋家で自ら展開したものでした。それらがすべて既に遙か以前に解決されたことだと聞かねばならないのは極めて不愉快ではありますが、それだけに講義は益々興味深くなります。私の知識が早く広くなって、既に解決されていることを知り、同じことをもう一度求めるとい<sup>ほねおり</sup>う骨折をしないで済むようになりたいものです。少くも今迄私の研究した特殊な領域では私にとって新しいことが次第に稀になって来たことはともかく自ら慰めるに足ります”とある。このようにして Hertz は見事懸賞を獲得し大きな美しい金牌を授けられたが、科学部の判定は特に賞賛の言葉を盡くしたものであった。

此の秋 Hertz は一方で家にあつて、磁石間で‘廻転する球中の誘導に就て’なる理論的研究にとりかかり、翌年 1 月には早くもこれを学位論文として Berlin 大学へ提出した。この論文はその特殊な場合は Maxwell 等も解いているが、Hertz の解はそれを一般化した極めて広汎なもので、廻転が速くなると自己誘導が大となり内部の電流が表面に集ることが数学的に示されている。Kirchhoff, Kummer, Zeller,

Helmholtz の試問にも通過した。論文に対する大学哲学部の判定は Helmholtz の起草にかかり絶讃を与えたもので、学位等には Berlin 大学では稀な ‘magna cum laude 大なる称讃を伴いて’ という言葉が添えられていた。

後に発表されたものであるが、静電場中で運動する導体表面の電気の分布の理論もこの研究と関聯して早くも部分的には計算されていた。

## 5 Helmholtz の助手として

1880年の夏 Hertz が休暇で帰省中 Helmholtz からの手紙は彼の助手に H. Kayser の後任として採用される希望の有無を問い合せて来た。講義の準備、図書室の管理等の仕事に対し 1110 マルクの俸給と官舎を支給されるというのである。Hertz は勿論快諾し 10月1日付で助手になり、かくて Berlin の実験所の器械類を利用し得ることとなったが、職務の外同時に多数の問題に取りかかったものの一度にやるわけには行かないという嘆声を洩らしている。3年間の助手時代の業績はほぼ此の頃種を播かれたのであった。

Hertz は、Berlin の物理学協会しばしばで Newton 環に関する論議が屢々行われるが、相互に押付けられた硝子が接触箇所しばしばでどんな形状の変化をしているか解決されていないことに気付き、この問題の解を自ら試みた結果が‘弾性固体の接触に就て’なる有名な論文である。そこでは平衡のあらゆる条件や、変形や、応力を論じ、圧面である二次の小平面は力の立方根に比例して(linear な)大きさが増加することを示している。これは 1881年1月21日物理学協会しばしばで講演されたが、Helmholtz も Kirchhoff もその場に居合わせなかった。後で両者も勿論賞讃したが Kirchhoff は大きな誤りが在ると言い、Hertz はそう思わないので激論となり、Kirchhoff も興奮したが結局その誤解を認めたという挿話もあった。この論文は実用的意義も大きく、Hertz は更に‘硬度に就て’なる論文で補足している。Berlin の Normaleichungskommision (標準委員会)は鋼鉄製基線尺間に(鉄の全面では接触が不確実なので)小さい硝子球を入れて、それに小さい圧を加えていたが、従来不明であったそのための変形の計算を Hertz に依頼し、その結果初めて量的に明かになった。勿論微小なものであるが思ったよりは大きかったと例によって Hertz は両親へ報じている。

1882年に入ると彼は再び実験に帰り、塩化カルシウムの重量の増加に依る湿度計であるとか、銀線の電流による熱膨脹を利用した電流力計などを考案してい



るし、<sup>やや</sup>稍以前の真空中の水銀の蒸発、低温度に於ける水銀蒸気の張力の計算などを論文として発表しているが、注目すべきはガイスラー管中の放電現象、特に暈光放電の実験的研究である。Maxwellはその主著で極めて簡単ながらこの問題に触れ、それが将来電気の本質に光明を投ずるのではないかと予想していたが、これは J. J. Thomson 等 Cavendish Laboratory の人々に大きな意味をもったように、Maxwell を高く評価していた Helmholtz や Hertz にも注目されたのであろう。即ちこの年の秋両親への手紙に言う“この領域は頗る<sup>すこぶ</sup>不明で未開拓でありますから、その研究は恐らく大きな理論的興味がありましょう。……私は今日硝子細工屋に管を注文しても幾日もかからなければ手に入らないのには我慢がなりません。それでいっそ自分の幼稚な技術でやれる事で辛棒しておくのです。費用の点でも誰も多分そうするでしょう。しかし毎日一つか二つの管を仕上げてはいろいろな状況で観察するのですから、それは勿論厄介な仕事です。……”彼はまた一定の電池で実験するため約2箇月を費して1000箇の電極を自身で製作して二次電池をこしらえている旨を報じているが、今日の如き配電機構のなかった当時の高電圧の実験が如何に容易でなかったかはこの一例でも想像されるであろう。この電池も間もなく使用不能に陥ったのであるが、その前に周到に計画された実験の主要部分は終っていて、論文は翌年 Kiel から発表された。

この論文の中で Hertz はまず暈光放電が disruptive かそれとも連続的かを詳細に検討し、結局もし disruptive とすれば1秒間に2億回以上の放電をせねばならないので、連続的とすべき非常に確からしい理由があったとした。その後10数年ドイツ物理学界の陰極線研究にとって特に運命的となったのは、‘陰極線は電流の通路を示すものか否か?’という自らの質問に対する Hertz の回答である。電流は直接陰極線と関係があるであろうか? 若し<sup>しか</sup>然らずとすれば電流の流線即ち本来の放電の線は如何なる通路をとるであろうか? 当時既によく知れていたように磁石に依って陰極線が曲げられることは、一見すると電流と陰極線とを同一視せしめる根拠となるようであるが事実は<sup>しか</sup>然らず、陰極線は逆に磁石には作用しない! と Hertz は自己の実験から断定した。即ち彼は特別な場合に就て小さい磁針で放電の場を探索し、電流の通路を確めてそれが陰極線のと明かに異り、両者は全然無関係である。従って磁石の陰極線に対する作用も Hall の効果と比すべき

ではなく光の偏光面の磁場に依る廻転に比すべきである、と結論したのであった。

この論文を非常な興味を以て読んだ Helmholtz は Bravo! を書き送り、“私は暫く前から陰極線は Maxwell の電磁エーテルへの急激な衝撃で生じ、電極板の面が最初の波面となるという考えを抱いていた。何故なら私の考えでは此のような波動は正に陰極線と同じように伝播せねばならないからである。……”と附加えている。かくて陰極線波動説は遂に Hertz や Helmholtz の生前(1897年の Lenard, Wien の粒子性の証明までは)ドイツ学界の定説となってしまった。

今日、陰極線と電気の通路とは全然同一物の別名に他ならない。陰極線の磁石に対する作用は後に明白に認識されている。H. Poincalé は Hertz は X 線の作用に依る影響で誤られたものであろうとしているが、ここでは寧ろこの問題では Hertz の弟子として自ら経験を積んだ Lenard の詳細な批評を認めたい。Lenard は Über Kathodenstrahlen (Nobel 講演 2. Aufl.1920)に附録して‘陰極線の本質に関する今日の認識を基礎づけた実験的諸研究’という一節を設け、従来の科学史家が Hertz の実験を単に本質的に間違っただけのものとして片付けているのは正しくない。有名な J. J. Thomson の実験と比較しても線の通路の電氣的な保護の点などでは寧ろ優れている程十分に周到なものであり、後の陰極線の研究方法の Idee なども既に展開されていて実験の原理に於て遙に時代に先んじている。唯 Hertz の結論を誤らしめたものは真空が十分高くなく観測される管中に気体が残存している事で、これは当時の実験の(特に真空の)技術がまだ幼稚であった為に外ならず、ある意味では Hertz が電気収集器を管中に封入するような硝子細工師を手許にもたなかった為で、これには古いプロシヤ的節儉の伝統が当時の Helmholtz 指導下の実験所にも支配していた影響もあろう。Hertz 自身もこの実験を予備的だと言い、後にも陰極線の本質に関しては決して自分の意見を述べなかったのは自らの実験を不満足としていた一証であると Lenard は言っている。Hertz はこの際電気を粒子にして速度を計算すると  $1.1 \times 10^{10}$  cm/sec となり余り大き過ぎて真らしくないとしたが、これは W. Wien も言うように約 3000 ボルトで加速された場合の速度に相当するから実は差支えなかったわけである。

これら Berlin 時代の実験を通じて見ると、それらは特に目覚しい発見というわけではなく、その結果も予想されたものさえあったが、しかも若年の Hertz が如

何に自己批判を注意深く行ったかは今日でも訓<sup>おし</sup>うところが多い程である。即ち彼は単に或る事実を主張するだけでなく、あらゆる方面から非難の余地のないように検討してその主張がどの程度まで正しいかの限界値まで決定明示しているのである。これは単なる主張とは異り容易ならぬことであるが、真に科学的な実験者を特徴づけるものであると Planck は讃えている。

1883年の1月頃の日記には就床前いつも Taine の“現代フランスの起原”を読むとか、Diderot や Montesquies を借りているとかあるが、彼は此の頃既に浮んでいる弾性体の平衡に関する理論的計算をしていると父に報じている。例えば氷の浮いている場合や、水より重い円盤が重さを加えると却ってボート型になって沈まないというような結果が出ているが、これは後に Kiel で発表された。彼は物理の問題は、単に数学的な取扱いを困難にするような余計な複雑さをすっかり除却して簡単な形にしなければならない。‘正しく把えさえすれば、数学的には必ずうまく運ぶものだ’と言っていたが、これが出来る為には勿論単に数学者ではなく彼の如き優れた物理学者でもなければならない。

この年3月 Kirchhoff が講義の後で Hertz のところへ来て Kiel 大学の数理物理学の私講師にならぬかと聞いたが、Weierstrass の話では近い将来助教授にするというので赴任することにした(Helmholtz は自分の意見は言わなかったが許可して呉れた)。

## 6 Kiel にて

1883-85年の Kiel 大学時代には同年輩の同僚たちの愉快的仲間でもヨット遊びなどして自然と親んだりしたが、これに機縁を得たのか実験に不便だったせいも理論物理に傾いて、まず気象の問題を研究し湿った空気の断熱膨脹を決定する図的方法等を発表した。この秋再び点呼で軍隊に勤務し、演習で身体を<sup>つか</sup>勞らし藁の中に寝て Vagabundenleben がすっかり好くなって、電気の理論などは縁遠いことになり、“こんな訳の分らぬ事が一体何の役に立つんだ”という士官の言葉に賛成しかねない程だと報じている。しかし翌年の日記になると再び電気力学の実験を考えたり、光の電磁論を考案し液体中の分散、偏光面の廻転等を研究しているが、この間 Dühring, Mach の力学史を相次いで読んでいた。その感想が書いてないのは残念であるが、後年の大研究がこの頃から培われていることが推察される。続

いて Maxwell の理論を熱心に研究し、“Maxwell とその反対者の電気力学の基礎方程式” を発表した。これは Weber や Neumann の遠隔作用論では磁場の時間的変化による影響が入らず不完全であるが、Maxwell の理論では  $1/c^2$  のついた附加項が存在し、有利になることを論じた一流の論文である。Hertz にとって自然の法則と人間の論理との一致は、Lebensbedürfnis で、それが巧く一致しないと何時間も室に閉じ籠って思索に沈み、メロディーを口吟みながら室内を歩き、遂に誤りを発見すると再び心安らかに仕事に取りかかるのであった。この頃の彼の読みものとしては、Gauss-Schumacher の往復書簡や Goethe-Schiller のそれ、D. Strauss の Alte und neuer Glaube などが記されている。かくする中にも漸く実験への憧れが強くなり、自宅の傍に一種の実験室まで造ったのであるが、たまたま Karlsruhe の Polytechnikum に空席あり、Kiel では教授の位置を提供すると引止めたが、実験の便宜を思って遂に 1885 年 3 月 39 日、Karlsruhe に向って出発した(Kiel では彼の後へ Max Planck が転じた)。

## 7 電磁波の実験的研究

赴任して 3 週間、両親への手紙では Hertz は食事にも淋しい孤独を歎ち、これから 1 年以上も結婚しないで暮したら mass ose wut に陥るでしょうなどと書いているが、丁度その 1 年目には同僚の測地学者 Doll の娘 Elisabeth と結婚し、後に 2 女を挙げた。これは余談であるが愈々ここに偉大なる発見の時期が到来したのである。

既にして Hertz は 230 箇の Planté の Element を持つ蓄電池、ダイナモ、真空ポンプ等をととのえていたが、1886 年秋に至り Geissler 管の実験などにも手を染めて見たりして、なおどの仕事から始めるか迷っていた。しかし 10 月に入るやまずライデン瓶の放電の際の誘導作用の実験を開始し、火花、二つの非閉回路の誘導作用、共鳴現象を実験して Helmholtz にも詳細報告しているが、翌 87 年の 1 月 20 日から実験を再開して 25 日に至り、一次の火花が二次の火花の生起に影響を及ぼす、即ち‘光が火花の放射に作用を及ぼす’ことに気が付いた。この頃を通じて戦争の不安が迫ったとも記されているが、5 月頃には 1 日と雖も進歩をしない日がない程熱心に仕事をしていると述べて紫外線の作用を研究して居り、これが“放電に対する紫外線の作用に就て”なる論文となった。7 月 7 日附の父への長文

の手紙ではまず可視以外の光線を写真入りで説明し“これは全く新しいというだけでなく極めて不思議な現象ですから確かに一つの発見であります。それが美しい発見であるかどうかは自ら判断する立場には居りませんが、他人がそういうのを聞くのはもとより悦ばしいことです。けれどもこれが重要か否かは唯未来が決定するでしょう”と述べている。そしてそれは光と電気という‘二つの全く異なる力の間の関係を示し、この兩種の力の交渉は Faraday の電場による偏光面の廻転、約 10 年以前(に発見された)光によるセレンの電気抵抗の変化’の例がないではないが、容易に観測し得られる点、化学作用その他の既知の作用に帰せしめ得ない点、紫外線の作用たる点でその研究に役立つであろう。要するにこの作用は驚くべきものであり、しかも完全に謎であるが、この謎が解決された暁には、それが容易に解決されないだけに却って新しい事実が明かになるであろうと報じている。之れの主論文は Planck も評するように生粋の Faraday 的精神で貫かれて居り、その周到にして的確なることはその点だけでも新発見の実験的取扱いの模範と見るべきものである。Hertz はこれが紫外線の作用と判明してからはその後の研究を Righi, Hallwachs, Elster 及び Geitel 等他人の手に委ね(21. Jan. '88 の書簡にこの感想あり)、この横道を棄てて本道に帰ったが、実にこの所謂‘<sup>いわゆる</sup>光電効果’なる現象が彼の直弟子 Lenard の研究結果を契機として Hertz がこの時進んで行った本道で、終局的に確立したと信じた光の波動論そのものを動揺せしめる光量子仮説の出発点となった。しかしこれは神ならぬ身の予見すべくもなかったのである。

さて Hertz の有名なる電磁波の実験は自ら論文集“電気力の伝播に關する研究”への序文、師 Helmholtz が‘科学の内面心理的な歴史’を明かにする類い稀なる文献と礼讃したその序文で述べているように、1879 年かの Berlin 大学の懸賞問題に対する実験研究中に、Berlin Academie の提出した electrodynamisch な力と絶縁体の dielectrische Polarisierung の関係を実験的に証明せよという課題に遠い動機をもつものであった。当時彼は Helmholtz から若しやってみる気があれば実験所はそれを援助しようと慫慂されたのであるが、Hertz は計算の結果ライデン瓶又は誘導器械で生ずる電気振動(最も速くて毎秒  $10^6$  程度の周波数)を以てしては成功<sup>おぼつか</sup>覚束なしと考えて断念したのであった。しかしこの課題をいつかは何らかの新しい方法で解決したいという希望は彼の名誉心を刺戟し、その後は電気振動に關す

る総てに注意を怠らなかったのである。従って幸福な偶然に依ってかかる振動の新様式が彼の手に戯れかかった場合それを見逃すということは殆んどあり得ないのであった。

然るにこの偶然は 1886 年の秋遂に彼を訪れた。Karlsruhe の Technische Hochschule の物理学会で Hertz は講演実験の目的で Riess 又は Knochenhauer の螺旋と呼ばれる装置を利用したが、これは大きな電池を利用しないで他方の火花を生じ得るのを知って驚いた。彼は後にこれを以て個人的には勝利の凱歌であり殊にかかる簡単な装置で目的を達しようとは思わなかったと喜びを報じている。

当時イギリスに於ては Maxwell の遺業を襲いで Cambridge の Cavendish Laboratory を中心として電磁波の実証には少からぬ努力が費され、<sup>なかんずく</sup>就中 Liverpool の Oliver Lodge, Dublin の Fitzgerald の如き、或は実験的に或は理論的に電波の存在の証明に近付いていたのであったが、“極めて迅速な電気振動に就て”なる論文(これのみは相似た内容のものが W. von Bozold に依って以前に発表されていたのであるが Hertz は知らなかった)に始まる Hertz の実験は一步一步前人未踏の境地を開拓して行ったのである。かくて日記に、両親や Helmholtz 宛の手紙に、また順次に発表されて行った論文に我々はいよいよ高調しいく実験を跡づけることが出来る。

そもそも電磁波を実証するには、第一に波長が空中で測れるような十分速い振動を起すことが必要で、Hertz 以前で最も速いのは Feddersen のそれであるが、これはキロメートル程度の波長に相当した。Hertz はこれを球の間に飛ぶ放電の火花で球と副導線からなる導体系に起す振動で解決した。第二にはこの現象の分析検証に用いる器具の発見であるが、これは共鳴の原理が電気振動にも成立つことに依って、共鳴を起す第二の導体即ち針金を彎曲させて小間隙を作り、その端に球をつけたものを用いて一次の振動系の周囲を検討したのである。

即ち 1887 年の末には針金に沿うて進行する作用との干渉を証明し、作用の有限速度を証明する実験にはまだ成功しなかったが、多数の節点を持つ定常波を作ることが出来た。しかし電圧と容量から計算した速度は光のとは一致せず、空中の速度は針金中の数倍で光より速いとしている。この誤りは実験室が狭いためにその周囲の影響から来たのである。12 月 28 日には 14m の距離で ‘elektrodynamische

Wellen'の作用を認め、更に翌日にはブリキ板の陰や壁の反射も一実験で確かめている。翌88年3月の両親への手紙では、今では多数の仕事の材料を獲て、ただ選択の苦しみがあるばかりである。“私はいわば自分の土台と床に立っていると感じ、また他人がずっと前にやっていることをふっと文献で見付けるようなことがないのは確実でありますから、競争の不安はなし、仕事をしていて愉快であります。自然と独り対し人間の臆測や意見や要求を論じ合うのではない。ここで初めて真に研究者の満足が始まるのです。言葉 (das phisiogische Moment) は消えて、哲理 (das Philosophische) 独り存すです”と自信に満ちて書いている。まことにFitzgeraldは、この1888年が電磁現象は直達か媒達かをドイツに於てHertz及び望むらくはイギリスに於て他の何人かに依って実験的に決定された年として永久に記憶されるようにしたいと述べたが、遂にこの栄冠は独りHertzの頭上に輝いたのである。

この秋HertzはBerlinへ呼ばれて、前年物故したKirchhoffの後任として理論物理学の講座を担当するように勧められたが、文相Gosslerにも、自分は元来数理物理学者ではない。現在の仕事からは離れられないと辞退し、結局文相もHertzの年を聞いて‘nack keine Eile’と笑って承知した(この位置はBoltzmannも辞退したのでPlanckのものとなった)。Helmholtzも、私情としては残念だがまだ把え得る多くの学問的課題を将来に控えている者は大都市を遠ざかっていた方がよい。生涯の終り近く、それまでに獲得した見地を新しい世代の教育と国家行政に用いんとする者は別だが、と言ってHertzの意向に賛成したという。

かかる中にもHertzは実験を継続し、波長40~33cmの振動を発生し、抛物面鏡を作らせて、二つの凹面鏡で反射、偏光を確定、更にプリズムを作って屈折の実験も完成し、電波は光とあらゆる物理的属性を同じうし、唯何百万倍の大きさを以て自然の中に現れたものに外ならず、それはレンズに依って暗中で小さい火花として証明されることになった。

## 8 Bonn大学にて

1889年4月HertzはClausiusの後任としてBonnに移り、その家まで買って住むことになった。この年にはアメリカから20000マルクの年俸でBostonへ創立される大学の物理の教授に招かれたがそれは断っている。Bonnの実験所は徹底的

な再組織が必要で、教育の仕事もあり、直ぐ実験を開始するわけには行かなかったらしい。7月頃には“Life and Letters of Faraday”などを読んでいる。既に3月の自然科学協会の講演で光と電気のことを語り、聴衆の或者は‘ganz erschüttert!’といい、或者は‘eine sehlflose Nachat gekostet, aber ich bereue nichit!’と嘆じた程で、その感銘を与えた様子は夫人から両親へ報じられている。しかし世界的な規模で有名になったのはこの年の秋9月20日 Heidelberg の第62回 Naturforscher Versammlung でドイツ学界の感謝に応答した一般講演“光と電気との関係に就て”である。

“光そのものが一箇の電氣的現象である。……光の波動論は人間的に言えば確実なことであり、これから必然的に結論されることもまた同様に確実である。……<sup>しこ</sup>而して我々の知るすべての空間は空虚でなくて波動を起す性能のある Stoff エーテルに充たされている。”とまず光の波動論を述べ、次で電気に移り、“Faraday は彼が聞いたり学んだり読んだりしたことからではなく、彼が見たことから出発する精神の人として、不可視の正負の電気からではなく彼の精神の眼に依って電気の力の作用を捉えたが、この作用が有限の時間を要して媒達されることは証明しようとして果さたかった。これが Maxwell の理論で光と結び付けられたが、この理論を電気と光とを穹窿<sup>きゆうりゅう</sup>にたとえれば、その大支柱こそ電磁波の実証である。……古代の物理学は存在するものはすべてエーテルから創られたのではあるまいかという問にも縁遠いものではない。……”という。この講演に世界各地から集った聴衆はただ魅せられた如く感激した。Werner Siemens は是非 Berlin へ出て来るように勤めた。Thomas Edison は自分も似たような実験を企てたというのでそれを最後までやらなかったのは残念でしたという Hertz の言葉に対し自分の仕事は‘only inventions, not science’と答えたという挿話などが伝えられている。

かくして単に学界のみならず全文化世界は太洋の此方でも彼方でも講演に論文に Hertz の名が口にせられ、学会に彼を会員とし、貴顕は招待を競った。しかし彼 Hertz は依然として嘗てあった通りの彼であり、単純で、良心的で、友人には誠実なる友であり、以前の師には心服し感謝を失わぬ弟子であった。1891年 Helmholtz 誕生70年の祝賀会での Hertz の講演などはこれを如実に示している(Planck による)。



Hertz は Bonn 大学へ移って後 1889 年から翌年に亘り Maxwell の理論の完成に努力した。Maxwell 自身がなお未だ理論構成や計算の補助手段とした表象の中で物理的過程の記述に必要なものを遠ざけて純粋な理論体系を作るのが彼の目標であり、その結果電気と磁気の力の二つの変数のみが残ることになった。この両者は各瞬間に空間の電磁的状态を完全に決定し、その変化は常数の外には場所と時間の微分を含むだけの微分方程式で相互に結びつけられる。曰く、‘Maxwell の理論は Maxwell の方程式に外ならない。ここに Kirchhoff を継ぎ遠く現代の理論物理学の一傾向(Mathematismus と評せられるもの)へ通ずる Hertz の理論は静止物体の重要な現象に対しては簡単にしてしかも完全な方程式群を完成させることが出来た。しかし運動物体に対してはエーテルに如何なる速度を帰すべきかという難問に逢着したのである。Fizeau の流水中の光速度の実験等はエーテルに独立の速度を考えさせるようであるが、それらは当時なお余りに不確実と思われた。そこで Hertz はエーテルの運動は可秤物質の運動と一緒に決定されるという簡単な仮説を前提し、理論を構成したのであった。ここではエーテルの速度は全く不要となって理論から消え、完全ではないが、ともかく内部的に関連した電磁的現象の記述が可能となった。しかし後に Michelson 其他の人々の実験により Hertz の式は事実に適合しないことが知られ、電子論に基く Lorentz の体系で置き換えられ、更に相対性理論に依って一転したことは周知の通りである。

Hertz の休みなき精神は電気力学から更に一般的な自然の原理へと推進して“力学の原理”の著述が彼の努力の中心となった。彼はこの力学体系の方法をその 50 頁にもなんな垂んとする長文の序論の中で基礎づけているが、彼の意図は、Maxwell の理論を電気と磁気の力に帰せしめた如く、ここでも一切の論理的に不必要な概念を清算し去ろうとするにある。これまた Kirchhoff の力学の精神に相通うものである。彼は全力学を数個の原理から経験に訴うることなく純演繹的に展開することを目標としてその可能な三つの途を指示し、それを論理的に許容性、正当性、合目的性に依って判定選択する。第一の途は力学の歴史的発展の途を追うものであり、それは空間、時間、力及び質量の概念を基礎とするが、力の概念には極めて曖昧な内容がある。我々が直接の筋肉感から転じて遊星の運動に移るならば、我々は将来といえど雖も力を知覚することなく、その概念は唯天に輝く星の位置を

過去の経験から未来の経験を導来するために単なる補助量として導入するに過ぎない。第二の途はエネルギー保存則を基礎とするものであるが、この場合基礎となる Hamilton の原理はその応用が数学的に可能でも物理学的に誤った結果に導くことがある。また現在の運動を将来に生ずる結果に依存せしめる点で論理的に極めて複雑であり形而上学的ですらある。(この Hertz の意見は因果律に関して少々異なる見地に立つ現代物理学の傾向から見てそのまま受け入れるわけには行かないが、深刻な特徴は指摘している。) そこで Hertz は第三の途として、独立な基礎概念の中から力の概念を除外し、時間、空間、質量の 3 概念のみを基本とする独自の体系を論理的に構成し、質量の如き遠隔力の説明に際して当然起る困難を不可視質量の導入に依って解釈せんとするのである。

彼が中心に置いた‘力の作用を受けず拘束条件の下で運動する質点は、条件の許す最小曲率の軌道曲線上を一定速度で運動する’という最直軌道の原理 (Prinzip der Geradesten Bahn) はこれまた遠隔力を斥けんとする努力の表れであった。Boltzmann は自分の夫人への手紙の書き出しに Lieber Hertz と無意識の中に誤って  $t$  を入れたという程 Hertz の力学を読み耽ったそうであるが、その Boltzmann の力学が拘束条件を排して適当な分子力で置き換えんとしたのは、Hertz と意識的な対立をなすものである。Boltzmann とは反対に Hertz に気体運動論に関する論文がないのは、彼の確実な前提から出発する行き方にも依るが、近代的原子論的でないとは言えるであろう。Hertz 力学を更に展開するには例えば重力等の存在する場合をこれに相当する結合乃至理想的質量の導入等に依って解決することが必要であった。しかし Hertz 自身はこれを満足に達成せずして死んだ。しかし彼の Idee は深く、自ら重力場に影響しない程度の小物体の軌道に関する彼の観念は或る意味で一般相対性理論の重力論で実現されたとも言えるであろう。ただ一般相対性理論がその余りに抽象的数学的なるを以てユダヤ的<sup>ゆえん</sup>と非難される所以は Hertz の力学にも触れるところがないか否か一抹の疑いを遺すものがある。それは暫く措き、Hertz の力学の叙述は二部に分れ、第一部は経験と無関係にすべて Kant の意味に於ける a priori な命題であり、内部直観の法則と論理の形式に基くもので(と Hertz は考えた)‘物質系の幾何学と運動学’と題せられる。第二部に至って初めて経験的な‘力学’が叙述せられるが、ここでは空間、時間、質量は

尺度、時計、秤に依って測定される。従ってその測定よりも精確な実際の測定は出来ず、それは偶然性と任意性を含むものである。このように詳細にして類い稀なる方法論的考察も 19 世紀末のドイツ哲学の主潮たる新 Kant 派の認識論に影響されている。その限り内容的には、単に歴史的な部分も多いが、当時の自然科学の哲学に与えた影響は極めて広汎であった。例えばかの Marburg 学派の創立者 Herman Cohen が F. A. Lange の“唯物論史”の序説に於て、この Hertz 力学を生んだ哲学的精神をドイツ国民の将来の展望に真の慰籍を与える榮譽ある例証なりとして詳しく紹介論評したのも尤もであった。

### 終焉

1892 年の夏、それまで優れていた Hertz の健康に特異な症状が現れた。それは鼻腔の脹れと耳の痛みで、歯のカリエスと関係があったらしい。これが次第に重り、手術や転地で一時恢復するかに見えたが、1893 年の冬の初めには友人達に不吉な心配をさせるようになった。12 月 7 日にはそれまで苦痛を耐えて続けて来た講義も打切らねばならなかった。病篤しと自覚するや Hertz は弟子 Lenard を招いて大部分を完成した“力学の原理”の草稿を渡して出版を委嘱したが、同年 9 日には両親に宛てて有名な最後の言葉を送った。“私に実際何が起っても嘆き悲しみなさらず少しは誇って下さい。そして私が短い生涯ではあったがしかも十分に生きた特に選ばれた人達に属することを思ってください。この運命を私は自分に望んでも選んでもいませんでした。しかしそれが私に当たった以上私は満足しなければなりません。若し私に選択を任せられたら恐らく私は自らそれを選んでいたのでしよう”。遂に 1894 年 1 月 1 日、彼は最後の苦痛から解放された。医師は敗血症が死因であると診断した。

Hertz 死去の報一度世界に伝わるやこの夭折を悼まぬ者とはなかった。わけて師 Helmholtz の落膽は甚しく、“Hertz の死は古代人ならば余りにも輝しき業績のため神々の Nemesis の犠牲になったというでもあろう”と書いたのであったが、彼また同じ年の秋不帰の客となってしまった。

Hertz の人柄は謙抑にして率直、凡そ彼を知る人からは皆敬愛せられた。彼がユダヤ人の血統を引きながらも、而も‘国民の誇りと希望’と呼ばれ (Plank), J. Stark の如き民族の血を重視する学者からも、彼の精神はゲルマンの母に依って

決定されたものとして偉大さを確認されでいる所以<sup>ゆえん</sup>は、もとより彼の業績に基くには違いないが、その美しい人格にもまた依るものであろう。

Hertz 逝いて 50 年、時代は移り、嘗て尖端に立った Hertz の研究もその全体の方法から見て今日では古典物理学の最後を飾るものとして見なければならなくなった。Hertz の生活の基調はドイツ帝国がイギリスに追従せんとした順調な発展期の学者のそれとして、今日の戦局下我々が直ちに取って学ぶを得ない点もある。しかも 37 年の生涯を研究に捧げた彼の熱烈なる探究精神、その周到なる実験の工夫、深刻なる理論の構想は、なお我々にとって教えるところが少ない。ここに 50 年忌に際し拙い旧稿を提供した所以<sup>ゆえん</sup>である。

## 文 献

Hertz の生涯と業績に親しむための最良の文献は *Gesammelte Werke von Heinrich Hertz*, Leipzig 1894 全 3 巻である。これの第 1 巻には P. Lenard の解説、第 2 巻には電磁波発見の Hertz 自身の回顧的序説、第 3 巻には Helmholtz の切々たる追悼回想録あり、何れも極めて有益である。筆者は故田丸卓郎先生遺愛の本全集を座右にしてこの文を綴り感激深いものがある。なお Hertz の日記書簡を集めた *Heinrich Hertz, Erinnerung. Briefe. Tagebücher*, Leipzig, 1927 及び Max Planck の追悼講演 *Heinrich Rudolf Hertz*, Leipzig 1894 を嘗て桑木彥雄先生より拝借しそのノートを利用し得たことを謝して擱筆する。

---

## PDF 化にあたって

本 PDF は、

『科学史論』（「天野清選集 2，日本科学社，1948 年 11 月）  
を元に作成したものである。

PDF 化にあたって、旧漢字は新漢字に、仮名遣いは新仮名遣いに変更した。漢字の一部には振り仮名をつけた。

科学の古典文献を電子図書館「科学図書館」

<http://www.cam.hi-ho.ne.jp/munehiro/sciencelib.html>

に収録してあります。

「科学図書館」に新しく収録した文献の案内，その他「科学図書館」に関する意見などは、

「科学図書館掲示板」

<http://6325.teacup.com/munehiroumeda/bbs>

を御覧いただくか，書き込みください。