

アレニウスの温室効果ガスに関する論文(1896年)の意義

The meaning of Arrhenius' paper on the greenhouse effect(1896)

北口 久雄 [1]

Hisao Kitaguchi[1]

[1] 新コスモス電機

[1] NEW COSMOS ELECTRIC CO.

S.Arrhenius (1859-2027) は 1896 年に「大気中二酸化炭素の地球表面温度への影響」という論文を Phil.Mag. に発表した。今日ではこの論文は温室効果ガスについて定量的に最初に評価した業績として有名である。論文は 1890 年代初頭ストックホルムの物理学会を中心とした学際的なサークルでの氷期 間氷期サイクルの原因についての議論の中から生まれた。メンバーには N.Ekholm(地質学),A.Hogbom(地質化学),O.Pettersson(化学),V.Bjerknes(気象学) 等がいて、講演を主題に互いに議論しあうといものであった。Arrhenius はこの中で Hogbom の地球上での CO₂ の循環に関する講演に影響を受け、大気中の CO₂ 濃度変化が氷期 間氷期サイクルの原因ではないかという着想を得た(1894 年末)。地球表面温度は太陽と地球間の輻射平衡で決まり、輻射に関しては当時既に Stefan の実験式(1879 年、絶対温度 4 乗則)があった。Arrhenius は 1895 年 7 月にこの式を用いて CO₂ 濃度と地表温度の関係について講演したがメンバーには受け入れられなかったという。そこですぐに本格的な計算を行い 12 月には完成しドイツ語で自国のアカデミーに提出すると同時に英語で Phil.Mag. に提出した。当時すでに 15 の物体からの輻射(熱線)に対し CO₂,H₂O が「選択的吸収」を有することは実験室段階では判っていた(Fourier,Tyndall 等)。しかし Stefan の式を適用するためには地球規模の観測データが必要であったが、米国の天文学者 S.P.Langley(1834 - 1906) の月の輻射のデータを利用した。

膨大な作業の結果 CO₂ 濃度として当時の値 300ppm を 1.0 として濃度が 0.67、1.5、2.0、3.0,4.0 になった場合の地表温度の変化を計算した。評価の地域は南緯 60 度から北緯 70 度までを 10 度毎、東西は地球経度を 20 度毎に区分けした(234 メッシュ)。よく引用されるのは 2 倍になった場合の上昇温度が 5-6 になるという結果である。英語論文の最後に「地質学的結論」の節があり、大気中の CO₂ 濃度変化の要因について Hogbom の見解が述べられる。その中で氷期 間氷期サイクルには急激な CO₂ 濃度変化が必要であり、その原因としては「火山の噴火」が主な原因としている(この節はドイツ語論文にはない)。論文発表直後には地質学者 Chamberlin(米国)、物理学者 Angstrom(スウェーデン)からの批判があったが、地質学・気象学の分野ではその後 1980 年代までは全く引用されなかった論文であったという。

論文発表 100 年後の 1996 年にこの論文を記念したワ - クショップがスウェーデンで開かれ、その内容は 1 2 編の論文に集約されている。そのなかで海洋学者 V.Ramanathan は Arrhenius モデルの現代における解釈を行い Arrhenius の大気中の H₂O の吸収効果の評価結果は 1980 年代のデータと比較して ± 5 % 以内で合致していることを確認している。CO₂ に関しては Arrhenius はその吸収効果を大きく評価し過ぎたために温度上昇の見積もりも大きすぎたとしている。さらに結論で次のように言っている。「論文は観測事実を基にモデルを構築するうえで現在でも参考になる。Arrhenius は観測事実から一步一步、輻射とエネルギーのバランスに関するモデルを構築した。この目的のために Langley のデータを解釈した手法は現在でも学ぶに値する。Arrhenius モデルは今日のデータとコンピュータシミュレーションに照らしてもその成果は多い。」

Arrhenius は産業革命以後 1800 年代の石炭消費の急速な増加に着目しこれが大気中の CO₂ 濃度を増加(従って温度上昇)させる可能性について述べている。例えば 1896 年 2 月のストックホルム大学での講演で、当時の石炭消費量(500 百万トン、現代の約 1/17)は大気中 CO₂ 濃度 0.3ppm に相当し、このままの状態が続けば地球上でのバランスを考慮して 3000 年後には 450ppm になり温度は 3.4 上昇すると述べた。その結果人類はより快適な環境で生活できると楽観的な見解を述べている。1996 年に Arrhenius の詳細な伝記を英語で初めて著したスウェーデンの科学史家 E.Crawford は温室効果ガスとしての CO₂ に関する Hogbom の業績が Arrhenius の影に隠れてしまった点を指摘している。しかし 1900 年の Plank の式による量子論の基礎付けの前に Stefan の実験式を適用した点の科学的意義(それ以前の Tyndall 等とは質的に異なる)に関してはもっと強調されるべきと思われる。

注記: Langley のボロメータの開発経緯とその装置を駆使して観測した月に関するデータと Arrhenius モデルの解説に関しては第 9,11 回科学史西日本研究大会(2005/11、2007/12)で発表した。