

序文 ジョン・D・クラークについて……………	ix
まえがき……………	xii

第1章 ロケット推進剤の開発の始まり……………	1
第2章 ペーネミュンデとジェット推進研究所(JPL)……………	12
第3章 自己着火性推進剤の研究……………	28
第4章 自己着火性推進剤用の酸化剤……………	57
第5章 いつも酸化剤の候補に挙がる過酸化水素……………	82
第6章 ハロゲン系酸化剤、国との関係、宇宙探査への利用……………	90
第7章 推進剤の性能について……………	113

第8章 極低温推進剤と関連物質……………	130
第9章 ソ連の状況……………	145
第10章 特殊な推進剤……………	151
第11章 一液式推進剤に対する期待……………	164
第12章 高密度推進剤とひどい失敗……………	217
第13章 これからの見通し……………	237
注……………	241
略語の説明……………	254
訳者あとがき……………	259
索引……………	270

ロケット工学と宇宙旅行については、非常に多くの本が書かれてきた。ロケットの歴史と発展についても、同じくらい多くの本が書かれて来ている。しかし、ロケットを飛ばす原動力であるロケットの推進剤（燃料と酸化剤）については、詳しく知りたいと思っても、適切な本が見つからないだろう。現用のロケット推進剤について記述している本はいくつかは有る。しかしそうした本では、アポロ計画のサターンV型ロケット、タイタンII型大陸間弾道弾、ソ連のSS-9大陸間弾道弾などの推進剤が何かは書いて有っても、何故その推進剤なのか、なぜ他の推進剤ではないかは説明されていない。この本では、その理由や経緯を説明したいと思う。また、ロケット推進剤の開発の過程についても、誰が、いつ、どこで、どのように、何故、その推進剤を開発したかを紹介したい。固体ロケットの推進剤については、別途誰かが書いてくれる事を期待したい。

今この時期は、このような本を書くには良い時期である。液体ロケットの推進剤の研究開発は、一九四〇年代後半から一九五〇年代を経て、一九六〇年代前半までが盛んだったが、それ以後、新しい研究は少なくなった。研究開発が一段落し、その時期に活躍した人達からまだ話を聞けるので、研究開発の歴史をまとめるには良い時期になったと言える。私が情報提供をお願いした全員が、私にすり寄って抱きしめかねない程に喜んで協力してくれた。私は、未

公表の、非常に貴重な情報を大量に提供してもらったが、これらの情報はその提供者が亡くなると失われてしまったかもしれない。提供者の一人が、「我慢していた欲求不満を解消する良い機会だった」と私宛てに書いて来たが、私も同じ意見である。

この本を書くための情報は、様々な部署にいた多くの人達から提供してもらった。会社や政府機関の進捗報告（進捗でない場合もあるが！）、種々の会合での発表資料、関係者のメモ、情報活動の報告書など様々な形で提供してもらった。どれも役に立った。この本は公式な歴史ではなく、当時の研究開発の担当者一人として、何が行われたかを率直に語ろうとする本である。公式な記録として書いた本ではない。この本では、出来事によってはその内容を詳細に記述しないが、それは関係者を当惑させたり、場合によっては迷惑をかけるかもしれないからだ！取材源の秘密を守る必要があるのは、マスコミ関係者だけではない。

もちろん、私自身の記録や記憶も利用している。私が海軍航空機用ロケット試験場（NARTS）に一九四九年一月一日に配属され、一九七〇年一月二日に、その後継組織であるピカティニー陸軍兵器廠の液体ロケット推進研究所（LRPL）を退職するまでの約二〇年間、私は正式な組織には成っていなかったが、実質的には大きな機能を果たしていた、液体ロケット推進剤研究者の集団の一員だった。そのため、米国と英国でのロケット推進剤の開発状況については、いろいろ情報を入手していた（ソ連の研究状況については、一九五〇年代末になるまで情報が入手できなかった。ロケット推進剤の研究開発の歴史の大筋については、米、英、ソの三国以外は無視してかまわない）。

この本は、興味を持つ初心者向けだけでなく、ロケット業界の専門家も念頭に書いてある。初心者の読者にはできるだけわかりやすく書くようにした。ロケット業界の専門家の中には、自分の職業であるロケットについて、その歴史に無知な人を見かける事がある。そうした人は、しっかりと監督しないと、我々が一五年前に経験したように、愚かであるだけでなく、人命に影響する事故につながるような失敗をする可能性が高い。哲学者のサンタヤーナが言っていたように、物事にはちゃんと原因があるものだ。

そんな訳で、しっかりとした事前検討により成功した研究開発計画だけでなく、控え目に表現しても、賢明とは言えない研究開発計画についても、同じように取り上げてある。ロケット推進剤の開発成功談についても書いたが、周囲から批判され、袋小路に入り込んで失敗に終わった研究開発計画についても書いてある。

この本は私の主観に基づいて書かれている。様々な研究開発計画や研究開発提案の内容の妥当性(または妥当性の無さ)について、私の見解を率直に書いている。自分の見解について私は言い訳しない。また、私の下した批判は、結果を知った上での批判ではない事をはっきり言っておく。この本の中で、以前に誰かが行った提案について厳しい評価をしているが、その当ても同じように感じたのか、自分でも確認したいと思った。私の当時の業務日誌(個人的な日誌)を調べてみると、私はその提案について、簡潔に「混乱しててだめだ!」と書いていた。だから、私の意見は基本的には変わってない。

この本が完全無欠とは思っていないが、主要な研究開発の流れについては、自分なりに正確に記述しようと努めた。もし、私が不当にもどなたかの業績を無視しているとか、私の記憶が間違っていると思われるなら、私にご連絡いただくようお願いいただきたい。私はこの本の次の版で、訂正させていただくつもりだ。自分の研究所での事はかなり詳しく書いていると思われるのなら、それは私の研究所が特に優れているからではなく(他の研究所より変わった事を多く行ったかもしれないが)、その当時の国内の他の多くの研究所でも行われていた事の、良い代表例だからだ。

文中での私の知人の名前の表記方法はまちまちである。姓の前に、頭文字ではなくて名前が表記してあるのは、私とその人を良く知っているからに過ぎない。称号や学位は基本的には示していない。この業界では学位を持っているのが普通だ。そして、ある人の所属先が章によって違っていても、それは間違いではない。この業界では、研究者は絶えず勤務先を変えている。私のように一つの勤務先に二〇年もいるのは、記録的かもしれない。

ここで言っておきたいのは、この本はごく少数の人について書かれている事だ。液体ロケットの推進剤の研究者の世界は、大きくはなかった。関係者は多分、最大に見積もっても二〇〇人くらいで、その内の四分の三は、ただ言われた事をするだけの実務者に過ぎない。二〇〇人の内の四分の一だけが、特に注目すべき面白い人達だ。その中にも少し頭のおかしい人が少しは居た(他の業界の同様なグループと比べて比率は小さいが)。我々はお互いの事を良く知っていたので、情報は非公式な形であつたという間に全体に伝わってしまう。そうした非公式の情報は、私にはとても役立った。私は国の研究所で働いていたので、民間企業の人達は「社外秘」の情報も教えてくれたからだ。もし私が耳よりな話を本人から直接聞きたい時は、推進剤の次の研究会で、会議の後で個人的に教えてもらえる事が分かった(推進剤の大きな会合の多くはホテルで開かれ、主催者は賢明にも会場の外にバー・コーナーを準備してくれていた。会場がホテルでない時は、近くのホテルのバーを探せば良かった。目当ての人間はたいはそこにした)。私は彼の隣に座り、自分の飲み物が来ると、「やあ、君の所のこの前のロケット燃焼試験では何が有ったの? 僕は君の報告書は読んだよ。でも、自分でもその事を記録しておきたいんだ。本当はどうだった?」と尋ねれば良かった。それで簡単に正確な情報が得られた。

この関係者達には、杓子定規な人間はあまりいなかった。ほとんど全員が個性的な人間だった。お互いの関係はうまく行く時もあれば険悪な時も有った。そんな人達の上司は、彼らの人間関係を理解している必要があつた。チャーリー・テイトがワイアンドット社から、ルー・ラップがリアクション・モーターズ社からエアロジェット社に移つて来た時には、エアロジェット社の管理職は二人の関係を良く理解していて、一人をサクラメント工場に、もう一人をアズーサ工場に配置する事にして、二人をカリフォルニア州の中でも、北と南に離して配置した。ラップはテイトが会議で発表をする時、テイトの発表用のスライドの中に、女性のヌード写真を一、二枚滑り込ませたが、テイトはそれを不快に思っていた。

しかし、周囲との人間関係に関係無く、我々の研究成果は、関係者達から正当に評価されていた。全員が「君がやれる事なら、僕はもっと上手くやれる」と考えるような、有能な競争相手であり、全員が、自分の研究成果を正当に

判断できるのは、このグループのメンバーだけである事を認識していた。我々を管理する人達は、技術的な内容を熟知している事は少なく、我々の研究結果はほとんどが秘密に指定されていたので、我々は外部の科学者たちに向けて、研究成果を公表する事ができなかった。そのため、関係者のグループ内で認められることは大事だった（アーブ・グラスマンが論文を発表した時、「クラークの爆発感度に関する、定評ある研究成果」と言ってくれた事で、私は一週間天にも昇るうれしさを感じていた。そう、「定評ある」なのだ）。グループ内でお互いに評価し合う事は、ある種、集団的な自己満足だったかもしれないが、それを励みに我々が必死に働いていた事も事実だ。

我々は必死になって働くしかなかった。対象としているのは、新しく、刺激に満ちた研究分野で、無限の可能性があり、関係先からは良い研究成果を切望されていたのだ。我々は突き付けられている問題について、現在は解答を持っていないが、短期間に問題を解決出来る事を確信していたし、研究には熱狂的に励んでいた。熱狂的などと表現できるのは、この時が一番である。この時の楽しさは、他の何物にも代えがたかった。だから、私は大事な友人であり、かつての競争相手だった人達に言いたい。「皆さん、私はあなた方と知り合いになれてとてもうれしい！」

一九七一年一月

ジョン・D・クラーク

ニュージャージー州ニューファウンドランドにて

第1章 ロケット推進剤の開発の始まり

長命で在位が長かったヴィクトリア女王が亡くなり、エドワード七世が日の没する所なき大英帝国の王位を継承した。ドイツのカイザー、ヴィルヘルム二世は軍艦の建造を進め、外交的には強硬な発言を繰り返していた。米国ではセオドア・ルーズベルト大統領が強気の発言をしながら、軍艦の数を増やしていた。それは一九〇三年の事で、この年の一二月には、ライト兄弟が飛行機で、短い距離だが初めての飛行に成功した。ロシア全土を支配しているロシア帝国の首都であるサンクトペテルブルグでは、「科学評論」誌に一つの論文が掲載されたが、その論文に注目した人はほとんどいなかった。

その論文の題名は、印象的だが内容を想像するのが難しい、「反作用利用装置による宇宙探検」で、著者はコンスタンチン・ツイオルコフスキーだった。彼は目立たない町であるカルーガ県のボロフスクの町の、これまた目立たない学校教師だった。

論文の内容は、次の五点に要約する事ができる。

一、宇宙旅行は可能である。

二、宇宙旅行はロケットにより、またロケットを用いる事よつてのみ実現可能である。なぜなら、真空中で有効に作用する事が分かっている推進装置はロケットしか無いからである。

三、黒色火薬（無煙火薬もそうだが）は、宇宙旅行用のロケットの推進剤としては、十分なエネルギー量を持っていない。

四、ある種の液体推進剤は、宇宙旅行用ロケットに必要なエネルギー量を持っている。

五、液体水素は燃料としては優れている。液体酸素は酸化剤として優れている。この二つの液体の組み合わせは、ほぼ理想的な推進剤である。

最初の四項目は、読んだ人を驚かせる内容ではなかったし、それに対する反応も無かった。第五項目は全く別で、数年前であれば驚くべき意見であるばかりか、無意味な意見であった。なぜなら、液体水素や液体酸素はまだ作られていなかったのだ。

一八二三年にマイケル・ファラデーが塩素の液化に成功して以降、ヨーロッパの科学者達は、身近な気体を冷却、圧縮、又はその組み合わせを用いて液化しようと試みてきた。塩素の液化に続いてアンモニア、二酸化炭素など多くの気体が液化され、一八七〇年代になると、液化が成功していなかったのは数種類の気体だけだった。それらは酸素、水素、窒素で（フッ素はまだ純粋な形で分離がなされていなかったし、希ガス類はまだ発見すらされていなかった）、悲観的な用語だが「永久気体」と呼ばれていた。

一八八三年四月に、オーストリア帝国クラクフ大公国にあるクラクフ大学のZ・F・ウロブリユースキーは、フランス・アカデミーに対して、彼と同僚のK・S・オルゼウスキーは、酸素の液化に成功したと連絡した。数日後には酸素の液化に、二年しない内に液体空気の製造にも成功した。一八九一年には、液体酸素が実験室で使う程度の量なら使用可能になり、一八九五年には、リンデが液体空気を工業用レベルの量で製造できる方法の開発に成功し、液体

空気を分留する事により液体酸素（液体窒素も）が作れるようになった。

ロンドンにある王立研究所のジェームズ・デュワー（後にサーの称号を得る。デュワー瓶、つまり魔法瓶の考案者）は、一八九七年にフッ素の液化に成功した。フッ素はモアッソンにより一一年前に単離され、液化フッ素の密度は一・一〇八と報告されていた。この密度の値は、何故か大きく間違っていた（正しくは一・五〇）が、そのまま文献に記載され、六〇年近く間違つたまま使用されて、多くの人を惑わせる事になった。

一八九八年五月に、難関だった水素も、デュワーがついに液化に成功した。デュワーは誇らしげに報告している。「一九〇一年六月二三日、五リットルの液体水素が、ロンドンの市内を、王立研究所の研究室から王立協会へと運ばれた！」

この液化の成功が有つたので、ツイオルコフスキーは一九〇三年に、液体水素と液体酸素を用いるロケットによる宇宙旅行について書く事が可能になった。ウロブリユースキーとデュワーが居なければ、ツイオルコフスキーの論文は書かれなかっただろう。

後にツイオルコフスキーは、水素以外のロケット燃料の可能性について述べている。メタン、エチレン、ベンゼン、メチルアルコール、エチルアルコール、テルペン、ガソリン、ケロシンなど、液体で燃える物ならほとんど何でも燃料として検討したが、酸化剤としては液体酸素しか考えていない。彼は死を迎える一九三五年までロケットの論文を書き続けたが、彼のロケットは机上の存在で終わった。ツイオルコフスキーは現実のロケットを作らなかつた。ロケットを現実製したのは、ロバート・H・ゴダードである。

ゴダード博士は一九〇九年にはすでに液体ロケットの構想を固めていて、ロシア人の先達であるツイオルコフスキー（彼の事をゴダードは知らなかつたが）と同じく、液体水素と液体酸素はほぼ理想的な組み合わせとの結論に達していた。一九二二年、ゴダードがクラーク大学の物理学の教授だった時、彼は液体ロケットの実験を始めた。その当時は、液体水素の入手は難しかったので、彼はガソリンと液体酸素の組み合わせを用いる事にして、その以後の実験