一般大衆の宇宙旅行研究「観光丸」のスタディ

2016 年 9 月

稲谷芳文（日本ロケット協会）

Abstract

日本ロケット協会の宇宙旅行研究活動として 1990 年代から 2000 年代の初めにかけて行われた「観光丸」のスタディは，21 世紀の宇宙輸送のゴールセッティングを意識しながら，一般大衆の宇宙旅行という新しいマーケットを考え，これを具体化するために必要な広範囲の考察のためのリファレンスモデルとして提示され，新しい輸送体系やシステム構成，技術レベルなどに基づいて広範囲な議論がなされたものであった．これまでに我々が議論したことのない宇宙への大量高頻度輸送や有人宇宙旅行およびそのための安全の確保，航空機的運航性，それらに向けた制度整備，経済合理性や民間による事業としての成立性，などと言った，いわゆる冷戦の動機で始められた，いわゆる 20 世紀型の宇宙開発を越えて，新しい世界の描像を具体化し，これらの現在とは質的量的に全く異なる世界が如何なるもので，如何にこう言う世界を作るかを具体化してみよう，と言う動機に基づいて行われたのである．この 20 世紀の最後の時代に行われた活動について記録し概説しておくことは有意義と考え，当時行われた様々な議論や検討結果をまとめておくこととする．

1. 序

1990 年代は，日本のロケットが H2 や M-V の時代へと発展し，ある種の成熟を見た時期で，20 世紀の終わりから 21 世紀への宇宙の仕事の次への転換をどのようにするのか，と言うことを考える時期でもあった．それまでの学術や研究開発の論理でなく，どういうものを作ったら世の中の役に立つか，経済性はどうか，と言う視点に切り替えて，21 世紀まであと何年，と言う時点で，今後のロケットの進化の方向性をどちらの方へ持って行くのがよいか，望ましき発展の方向はどちらか，と言う議論である．

ロケットの開発自身が自己目的化するのでなく，それで何を運ぶのだ，要するに次の時代に宇宙で何をするのか，をまずはよく考えよう．なぜならそこからこそロケットの次の目標が決まるのだから，と言うことである．次の時代の宇宙への輸送の目的として例えば「宇宙旅行」と「太陽発電衛星」のような大きな目標を考えてはどうか．前者の旅行は今の宇宙飛行士のように極めて限られた少数の人が行く話ではなく，飛行機に乗るように切符を買って一般の人が誰でも行ける世界にするにはどうしたらよいか，と言う課題に取り組むのはどうかとの考えである．後者は世界のエネルギ問題と環境問題の解決のために，現在の宇宙の仕事のスコープやスケールを超える規模と性格のもので，両者ともに桁違いな高頻度大量輸送の世界を作ろうとするものである．

偶然であるがアメリカでも９０年代には，シャトルの運航が定常状態になった世界で何を次の時代の輸送需要と見定めるか，のスタディが，ボーイングなどインダストリの主導で行われており，その輸送需要の中身に「宇宙旅行」と「太陽発電衛星」などが位置づけられている[1]．

さて我が国ではこの前者の宇宙旅行の研究は，日本ロケット協会，と言う学会プラットフォームを使って，ここに研究会を作り学会のボランティア活動として行われた．1993 年 4 月日本ロケット協会年次総会において学術委員会の研究活動として「宇宙旅行研究計画趣意書」が提出され，活動が開始された．そこには，宇宙旅行研究を進めるに当たっての基本的な考え方が書かれている．冷戦の背景の本に国家主導で行われてきた宇宙開発を，商業化や事業化による民間の力によってより低コストかつ高度な利用が出来る世界を作ること，の必要性が謳われ，一般大衆のために新たな質的および量的に桁の違う宇宙輸送の体系を作ることが語られ，研究活動を展開していくことが述べられた．

この進化のために必要なことはやはりロケットにあり，輸送手段の桁違いの進歩抜きには全体としての宇宙活動が革新されないのであると論じられた．活動の範囲は，医学，事業化，輸送および旅客サービスおよび有人飛行の安全などを議論する研究委員会を構成して活動していく構想が述べられた．

研究会のメンバ構成は，当時では戦後唯一の民間旅客輸送機である YS11 の開発に重要な役割を果たされた川崎重工の磯崎弘毅氏，富士重工の鳥飼鶴男氏をリーダとし，麻布大学で当時宇宙研にいたパトリックコリンズ氏らを活動の中核とし，長友らをは

じめとする我々宇宙研のメンバは主に裏方とオブザーバとして研究会を構成して活動を始めた．活動の中盤以降では戦後の航空機の耐空性の制度整備に大きな貢献をされた舟津良行氏が参加され，特に商業化や法制度整備の観点でロケットの次のゴールをあぶり出すための活動が行われた．同時に（財）日本航空協会の協力を得て，エアラインやパイロットの方々とも多くの議論をする環境が作られた．また活動全般を通じて，Max Hunter[2], Bill Gaubatz[3]らのアメリカでも活躍した人達とも交流が出来，当時 FAA 副長官で商業宇宙輸送法整備を主導した Patti Smith らとも議論をする場が作られた．打ち上げて捨てる事しか知らない我々ロケット屋にとって，このような別種の世界の人々との議論は，極めて刺激的で，貴重かつ有意義な時間を過ごすことが出来た．

本論考ではこれらの宇宙旅行に関する研究活動を概観し，機体の設計や開発運航経費の考察，乗客の安全から商業宇宙輸送事業の法的側面の考察，乗客に対する医学的考察，さらには運航オペレータの視点での考察などなど，従来の宇宙活動では経験できない多くの事柄に取り組んだ．以下の章ではこれらの結果を概観する．

2. 宇宙旅行の需要調査

宇宙旅行についてマーケット調査を行った．ここでは宇宙旅行をどのようなものとするかで多くの議論があった．地上の移動のように目的地があることを軌道上に設定するか，月のような行き先を作るか，と言うような議論であった．結果としてここでの旅行は，宇宙に目的地のホテルのようなインフラが出来ている状況を想定するよりも，大量高頻度輸送のスタートの姿として，宇宙船のみで宇宙空間の滞在を楽しむ，と言う形の比較的短時間の宇宙滞在を旅行と定義することとした．

短時間の旅行とした一つの理由は長期の滞在で予想される様々な困難さを考え，訓練を受けた今の宇宙飛行士のような特別な人間を考えるのではなく，だれでも宇宙へ出かけることの出来る，大量高頻度輸送を担ういわゆる「一般大衆」の旅行を前提とすることにより，「輸送機」の検討に集中できるだろうとの考えによっている．日本のような中緯度から打ち上げ，地球をまわる軌道を周回し，地球を２週あるいは次の再び発射点へ帰還する機会で帰還する比較的短時間の旅行に限るものとした．

図 1 はマーケット調査 [4]の結果で「宇宙旅行をするのに，費用がいくらだったら，お金を払って行く気になりますか」というアンケートの結果からの推定である．需要は一世代で一回りするとして日本の人口全体に対する年間の需要は総需要の 1/25 とした．まず図 1 左はこれから推定した一回の飛行の費用（切符の値段）と国内の年間の需要（旅客数）の関係を示している．切符の値段と旅客数がわかると総収入が計算できるのでこの結果が図 1 右のようになる．これによると切符の値段の設定は 150 万円くらいで収入が最大になり，年間収入が１兆３千億円くらいになることを示している．繰り返すがこの数字は日本の人口に対してである．

今，日本人の海外旅行の市場は数兆円であるから，要するにこれに匹敵する大きさの市場が国内に存在すると言うことである．さらに仮に切符の値段を 150 万円としたときの年間の総旅客数は図 1 から 100 万人の程度であるから，年間にこれだけの人を輸送するロケットを作ればよいと言うことになり，事業として成り立つためのロケットの輸送能力を見積もることが可能となる．仮に１機に５０人の乗客とし，１機当たり１日１回の宇宙への往復飛行をする場合を考えると国内の需要を賄うには機体は５０機必要で，機体１機の値段を数百億円としても運用を工夫すれば商売は成立することになる，等々といった損得勘定を展開して宇宙旅行を事業の対象として現実に考えることが可能となる訳である．この後に続く様々な議論や定量化は全てここから始まっている．現在のロケットの打ち上げ費用との比較をすると，ペイロード 1 kg あたりの地球周回軌道への輸送費用は前に述べたように百万円のオーダであるから，先ほどの切符の値段との比較を考えると，輸送のための費用はこれを 1/100 にすればこの事業は成立する，ということになり，旅行の事業化の観点から「２桁の輸送コスト削減を目指すべきだ」との目標に根拠を与えたことになる，と言えるのである（図２）．

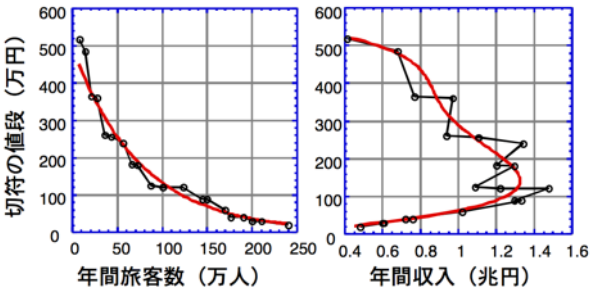

図 1　宇宙旅行のマーケット調査 [4]

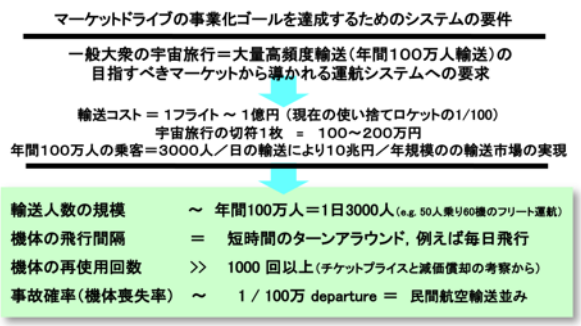

図２マーケットから導かれる輸送体系への要請

3. 宇宙旅行標準機体の設計

前章に述べたマーケットリサーチから，ユーザ要求，設計要求，運用要求を定め（「宇宙輸送機ユーザ要求」JRS-ST-401,1993 年 8 月），機体の要求仕様を求め，機体の概念設計を行った．このユーザ要求

書には，マーケットリサーチの結果に基づいて，輸送性能，運航性や航空委のインフラとの共用を考えた寸法重量制約，搭載環境，故障許容性，緊急帰還，保守補給などについての概略要求が定義されている．これに基づいた様々な研究活動は，上記の日本ロケット協会に設置された「運輸研究委員会」において 1993 年から 94 年にかけて行われた．図 3 は上に述べたような背景の元に概念設計を行った旅客輸送専用の単段式完全再使用型ロケットである[5]．

ここで議論するような従来のロケットの仕様を超えた未来の輸送体系を考えるとき，機体のシステム形態とどう言う技術レベルを前提とするかで，多様な技術ソリューションがあり得る．革新的な空気吸込式エンジンや，超軽量の構造材料など，採用すべき技術に多くの選択肢があり得る．ここではある種のリファレンスモデル的な機体のシステムの描像を共有してその上で後で述べる，技術課題以外の有人安全や運航性や法制度など多岐にわたる検討のたたき台を提供する意味で，定量化の合意が得られやすい，これまでの宇宙開発で培われてきたロケットエンジンをベースとして軽量化設計などが現在の時点よりも少し進んだ状態を想定することとして，単段式の機体によって航空機的な運航性を確保することを意図し，今後の議論のためのリファレンスとなるような機体の構成を考えた．

乗客数は５０人で短期間の軌道滞在の後地上に帰還することを前提にして設計された．前に述べた地上への帰還の方法はロケットを使って垂直に降りる形式を採用している．ロケット推進によるＳＳＴＯの形式であり，軌道を周回し帰還する繰り返し飛行を行う完全再使用型の機体は性能的には達成される．機体の緒元の概略を表１に示す．

前章の大規模な大量高頻度の輸送のためには例えば１日１機の飛行という程度のクイックターンアラウンド性の要求がある．複数機体の結合・分離をするような多段式ロケットではこの高頻度運航は望めないであろう．また，打ち上げはいずれにせよ垂直に行われるので機体の姿勢転換の必要のない，垂直着陸型がこの意味で有利であることが第一の理由である．またスペースシャトルで水平着陸の運用などは経験が積まれているので，垂直離着陸型のシステムを構築する上での運航や安全上の様々な課題や問題点を抽出しておくことがユニークな活動となり得ることも期待してこの形式を選んだ．

上に述べた様に VTOVL，ベースエントリ方式が，特にクイックターンアラウンド性に優れているという意味で採択され，以後の検討で用いる飛行形式や用意すべき地上系システムおよび繰り返し飛行運用や誘導制御方式を考えるための標準機体とした（図3）．この標準機体検討の目的は，ロケットの性能や技術的な範囲に留まらず，これを民間の事業として行うために必要な周辺の状況について考察し，整備すべき事柄と課題の抽出を行おうとするものである[5]．

図3　宇宙旅行標準機体「観光丸」

表1　「観光丸」機体諸元

打上げ時重量	５５０トン	乗客数	５０人
機体重量	５０トン	年間飛行回数	２７０回
機体全長	２２ｍ	機体寿命	１０年
機体直径	１８ｍ	機体製作費	７００億円／１機
エンジン	液水液酸ロケット（１２機）	定常運用機数	５２機
		運航コスト（目標）	１億円／フライト（減価償却費含む）

この宇宙船に「観光丸」という名前をつけた．「光を観る」である．観光丸は，幕末の1852年にオランダで建造された蒸気外輪船で，1855年にオランダ国王ウィレムIII世から徳川家定へ贈呈されわが国の蒸気船１号艦になった．翌年「観光丸」と命名され，長崎・築地・佐賀・神戸の各港で，幕府海軍の練習艦として活躍し，勝海舟・榎本武揚などの逸材を輩出した．ちなみに２号艦が日米修好通商条約使節団の訪米に使われた「咸臨丸」である．この観光丸から日本の海軍がスタートしたとも言える（図4）．

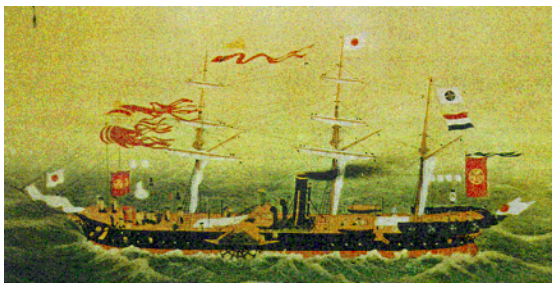

図4　幕末にオランダから導入された「観光丸」海軍の蒸気船一番艦（二番艦は咸臨丸）

4.　標準機体「観光丸」の開発経費推算

事業としての成立性を検討するために，この「観光丸」を標準機体と設定し開発，試作，量産のスケジュールを考え，WBS を作成して，開発や運用に必要となる経費について積み上げ方式で試算された．この活動も運輸研究委員会で 1995-6 年にかけておこなわれ報告書にまとめられている[6]．この量産に至る計画は「３年間の概念設計／基礎開発段階，３年間の試作

機の飛行試験を含む７年間の開発段階，その後の年間８機の定常量産に至る量産段階に分け，最終的に 52 機の観光丸による定常運航状態を開発開始後 18 年間で達成する」とし，この間に必要となる経費の見積もりが行われた．また，量産と同時に順次実運用を開始し，この運用に必要な機体の維持整備費用，燃料コストや離着陸に必要な地上設備の使用料など運用経費を算出した．この結果，正式な開発開始前の技術課題解決などのために必要な費用が約３１５億円，試作機４機の製造を含む開発総費用は約１兆３１８６億円，４８機の量産機の製造費用が２兆４千億円と試算され，量産機１機当たりにすると約５００億円，開発費を込みとしたときの１機当たりの費用は約７００億円となった（図 5）．この開発製造費の減価償却と運用費や一般的な管理費などをあわせた事業化の可能性の考察は第６章以降の事業化検討委員会などにおいて行われた．

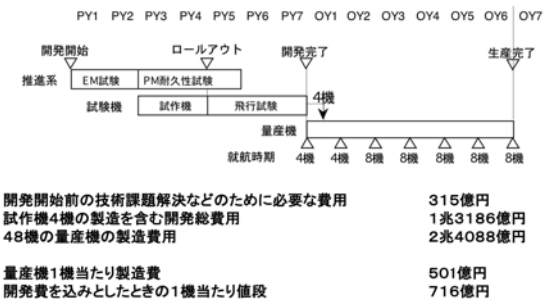

図 5　観光丸の開発シナリオと経費

5.　乗客の安全を確保するための考察

一般大衆の宇宙旅行を実現するための最大の課題は乗客の安全の確保であろう．現在のロケットの打ち上げは外部に危険のおよぶ可能性のある空域や海域から他の船舶や航空機を排除して行い，不具合の起きた場合は機体自身を破壊して飛行を中断し他に危険のおよぶことを回避する．現在の有人飛行の場合では飛行の全てのフェイズで起こりうる不具合に対して，宇宙飛行士の安全が飛行期間の全てで確保されているとは言えない．

通常，航空機では「耐空性審査要領」として機体や発動機に対して種々の基準を詳細に設け，これを満たせば乗員乗客や外部に対する安全は確保されるとして，飛行計画の提出などの簡単な手続きを持って飛行を行ってよい．例えばこの基準では，エンジン１機の不具合や火災は自ら消火できて，規定の操縦性を損なわず安全に着陸できること（機体を爆破するなど論外），とか地上で乗客が危険な状態になったときは全員が機外に脱出できること，などと定められているが現在このような基準を満たすように設計されたロケットは勿論存在しない．

SSTO として成立するための性能の追求と矛盾した要求となるのであるが，一般の乗客を輸送するいわゆる公共交通機関として社会的に受け入れられるためには，宇宙との往復を行う乗り物に対してもこれと同種の耐空性基準が定められ，この基準を満たしたものに対して例えば国が免許を与えるというスキームが必要であり，これは民間での輸送事業を実現するための政府の役割であろう．

この安全性の確保に関わる検討も「運輸研究委員会」において 1997 年から 99 年にかけて行われ，旅客輸送に供する T 類航空機およびヘリコプタなどの回転翼機 TA，TB 類に適用すべき安全基準を宇宙旅行の機体に適用する事を中心的な課題として広範囲な検討が行われ，安全性基準に関する報告書 [7]にまとめられた．ここでの議論は鳥飼鶴雄氏が終始リードして行われ，航空機のいわゆる耐空性審査要領からの類推で，宇宙旅行の標準期待である観光丸の設計に適用することを考えるときに，特徴的かつ象徴的な課題が多く抽出された．

これらはいわゆるロケットに代表される宇宙輸送機の打ち上げ成功確率が 98%などという世界と，航空機の 100 万回の飛行に一回以下の機体喪失確率と言う世界との間にある１万倍以上の安全性，信頼性の違いがどこに由来しているのかについて考えることである．要するに，使い捨てロケットの信頼性とは故障しない確率を最大化することを目指したシステム構築であるのに対し，航空機的安全とは，故障や事故を許容し，これらが拡大せず，分離され，ミッションの放棄の際にも機体の安全な帰還と人命の安全の確保をもたらすことの出来るシステムの構築との差であると言える．以下では典型的な要求の例を列記する．

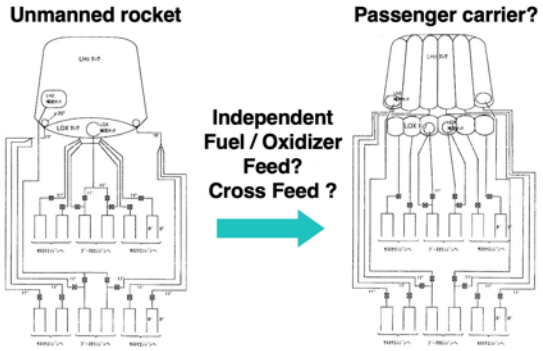

図 6　推進系の燃料供給系統の独立

燃料供給系統の独立とは，ロケットの場合は一つのタンクから複数エンジンにそれぞれ供給ラインが存在する形で設計されるのに対し，エンジン毎の独立タンク，これらからクロスフィードも含めた燃料供給を行うことを求めるものである．ロケットの構造重量の増加は避けられないが，故障許容のシステム構築が優越するとする考え方である．これまでそのような設計が行われたロケットは存在しない．

推進系の火災は自ら消火できて，動力装置は防火装置が装備され，隔壁を越えて火災が隣のエンジンに及ぶことなく消火されること，も規定すべきとされる．指定防火区域の設定，防火壁の仕様，消化剤やその容器，火災の検知装置などについてそれぞれ規

定が設定されるべきであるとされる（図 6）.

地上で事故などの状況が起きたときの非常脱出についても，非常脱出口は 35 人当たり一カ所とし，非常着陸の際の最大定員（観光丸の場合 50 人）が 90 秒以内に機体から地上に脱出できることを実際の試験により証明しなければならないとされる．観光丸の機体形式では，ロケットの機体形式の常として乗客キャビンの位置が地上から 25m の高さにあることが課題とされ，B747 のような 2 階建てキャビンの航空機でも地上から高々10m であるのに対し，脱出シュートなどを用いて安全な機外への脱出が確保されるか問題である，という点についての議論であった．これにより機体の低い位置に乗客用キャビンを配置する案についても真剣に検討された（図 7）.

図 7　航空機における緊急時の脱出

全ての例について紹介することは出来ないが，これらの考察のような航空機の安全の確保に照らして宇宙輸送機に固有な事柄が多く存在することを指摘し，解決の方法について様々な議論がなされた．いずれの考察も，99%の信頼性の世界から 100 万回に１回以下の事故確立の世界への転換に必要な事柄であり，多くの示唆に富む検討が行われ，標準機体である観光丸への適用に対する問題点が抽出された.

6.　事業化の検討

標準機体である観光丸の運航を事業として行う場合の採算性や収支の内訳などの検討を行うことによって，事業のイメージを具体化した．この検討は「宇宙旅行事業化研究委員会」において 1996 年から 97 年にかけて行われ，コリンズ氏を中心に報告書をまとめた [8]. 市場調査から得られる切符の値段１５０万円の程度に比べて費用見積もりから推参される経費は２９５万円となって約２倍の開きがあることが分かったが，これらに基づいて事業の収益性，収入と支出の内訳，減価償却費の割合などの考察から，減価償却のための再使用飛行回数などの考察から逆に機体の技術的要求があぶり出される側面もあり，千回から１万回の繰り返し運用が可能な機体でないと購入費の返済が出来ないことなどが分かった（図 8）．事業規模としては，50 機の観光丸のフリートで年間 100 万人の乗客を輸送する，という現在の宇宙輸送の規模からすると桁違いの規模となることと，これらを支えるインフラ，燃料の供給，保険の付与など，従来型の使い捨て型のロケットの打ち上げを行う事業とはその規模および内容の意味で全く異なる世界を構築する営みであることがあぶり出された.

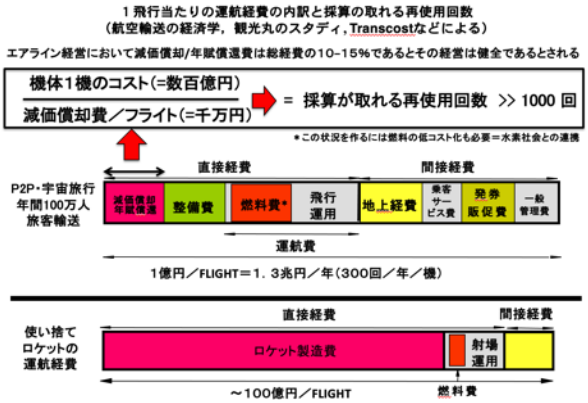

図 8　採算の取れる再使用回数の考察

7.　乗客に対する医学的影響の研究

現在の極めて少数の選ばれたいわゆる「宇宙飛行士」の宇宙滞在に対する医学的考察は様々に行われ実際の有人宇宙飛行での知見の蓄積が図られある種の基準も議論されるところであるが，観光丸のような一般大衆の宇宙旅行あるいは大量輸送の世界においては，「乗客」に対する医学的要求や考察という形で，選ばれた宇宙飛行士に対するのではない，様々な考察が必要であろうというのが研究会開催の動機である．研究会は，２０００年４月に日本宇宙航空環境医学界（飛鳥田一郎理事長，当時）に協力を依頼し，同学会に「宇宙旅行医学賞委員会」を設置して行われ，名古屋大学環境医学研究所の森滋夫教授が主導的な役割を果たされて活動が行われた [9].

宇宙環境に対する医学的影響の考察は，一般には，様々な宇宙環境の項目，即ち，マイクロ波放射線，電磁放射線，磁場電流，温度環境，加速度，振動，音響と騒音，光環境，酸素—炭酸ガス／仕事に伴うエネルギ消費，不活性ガス，環境汚染，栄養，水，圧力，生体計測および時間・空間環境，などに対して重要な因子に対して，清浄機能の範囲，清浄機能が失われる範囲，耐久限界，などに照らして，様々な実験データの収集やこれらに基づく基準の作成をしていく事が行われるのであろう．これらの宇宙環境に短期間から長期間に曝される場合の広範囲なデータの蓄積は未だ途上であり，本格的な宇宙滞在である年の単位の活動に対する知見に基づいて宇宙船の設計をする状況になるには多くの課題がある.

研究会の報告書においてはこれらの様々な環境に対する医学的影響の研究の現状が概観され，観光丸の宇宙旅行に適用する場合の基準の定量化の考察，加速度負荷に対する許容限界の考察，一般大衆に旅行の機会を開放する場合の旅客に課すべき条件に関する考察，救急患者の発生に備えた救急医療の体制，などの議論がなされている.

8. 法制概念の検討から商業宇宙輸送の実現へ

宇宙旅行の事業化のためには，その事業が運用される環境，換言すればこの事業を規制する法体系がどのようなものになるかを知ることが不可欠である，との認識から 1988 年 9 月「民間輸送法制研究委員会」が 11 名の委員及びオブザーバをもって発足した．構成メンバの内 5 名は民間航空輸送を代表する人々であった．この委員構成は他の業界と比べてこれからの宇宙旅行事業への関与の可能性が高いと考えられる業界を代表する人々が熟知している，航空輸送業界のインフラストラクチャについての見識を宇宙旅行事業化の要件の検討に活用することで，より現実的な判断が期待できると考えたためである．

この研究委員会では，標準機体である観光丸やその他の提案されている機体コンセプトや運航の方法や支援システム，これらを用いて行う商業宇宙活動や宇宙輸送の概念を概観し，宇宙条約やＦＡＡ米国連邦航空局で整備が議論されている商業宇宙法の検討の現状なども参照しながら「宇宙機の航行の安全，航行に起因する障害の防止を図るための方法を定め，宇宙機を運用して営む事業の秩序を確立し，もって宇宙活動の発達を図る」事を目的として，「宇宙航行法」の概念を独自に報告書にまとめた [10].宇宙航行法は，（１）総則，（２）登録，（３）宇宙機の安全性，（４）宇宙活動法従事者（５）航路，飛行場及び航路保安施設，（６）宇宙機の運航，運用，（７）宇宙活動事業者，（８）外国宇宙機，（９）雑則，から成り，それぞれの項目に対して，法で規定する内容の定義と規則の概案と考慮すべき事柄が記述された．

この委員会の目的はこれから出現するであろう商業宇宙輸送のために必要な法体系を策定することと同時に，これによって商業輸送を運営するための枠組みを明示することである．

9. 運航者の視点

航空機の運航で最も大事なことは何であるかと問われると，オペレータであるエアラインの人々は，「１に運用性，２に運用性，３，４がなくて５に運用性」なのだそうである．また別の見識は「地上にある航空機は一銭もお金を生み出さない」だそうである．年に数回しか打ち上げを行わないロケット屋とは全く異なる世界と知るべきなのである．

「宇宙旅行事業化フォーラム」は，内容としては先の「事業化研究委員会」の活動を次ぐものであるが，より商業航空輸送の世界に近づいて，舟津良行氏の指導の下，航空関係の広範囲のメンバで構成され，エアラインとして宇宙旅行のための輸送船を運航するという立場での考察から，宇宙輸送の商業化のための道を開くことを目指して 2000 年 4 月に活動が開始された．約１年間の活動において 12 回にわたるワークショップが開催され，2001 年 3 月には活動の結果をまとめる形で「第一世代商用宇宙船の一般基本仕様」を策定し，標準機体である観光丸の基本設計から始まり，費用試算や安全性の検討，事業化や法制など広範囲かつ様々な検討を集約する形で，商用宇宙船に求めるべき機能や要求を仕様の形にまとめた．さらにこれを策定する上での議論すべき論点の提示がなされた [11]．ここでは第一世代とは観光丸そのものにいたる第一段階という意味で，３，４章で述べた観光丸のフルの運航の要求である年間輸送 100 万人の輸送に比べて，15 人乗りで規模の小さいフリート（10 機運航）を考えている．基本仕様は 12 項目から成り，1. 宇宙船による営業飛行の種類，2. 商用宇宙船の形態，3. 安全性，4. 対環境性，5. 信頼性，6. 飛行制御および操縦士，7. 性能，８. 離着陸場，9. 採算性，10. 客室乗務員，11. 貨客収容室，12. 取り扱いの容易さ，について仕様と論点が整理されている．

商用航空輸送からの類推で有人宇宙輸送機に求めるべき仕様の観点で言えば，例えば２の「宇宙船の形態」の項では，仕様は「他の要件を満たせばなんでもよい」と記されているだけで，推進剤も「特に指定しないが離着陸場で入手が困難でないこと」と記され，技術の立場の考察からの単段式か二段式かとかエンジンの形式や水素かメタンかなどという議論は，商用のための経済性や安全性の優先される世界，即ち運行者やオペレータの視点では，要求さえ満たせば何でもよい，と技術ソリューションに対しては全く素っ気ないのは当然と言えば当然なのであろう．事業として成立する事を目指す世界は運用性や経済性の支配する世界であって，すべての技術ソリューションは，そこからこそ導くべき，と知るべきなのである．

これまでの各章で述べた，一連の宇宙旅行に関する様々な委員会やフォーラムなどでの検討状況や議論の結果は文献 12,13)に，またロケットシンポジウムとして開催された６回の研究会（1998 年から 2001 年）において逐次発表され，「エアライン型ロケット実現への課題」,「旅客輸送宇宙船に求められるものは？」として講演集にまとめられている [14,15]

10. 結びに代えて／観光丸のスタディがあぶり出した世界

以上述べたように観光丸のスタディは，1993 年長友らが，スペースシャトルの次に向けた，あるいは，２０世紀から２１世紀への転換期を迎え，次の宇宙輸送の具体像をイメージするために始められたものである．旅行という具体的な運航の状態を定量化することによってターゲットを設定し，いわゆるマーケットリサーチから初めて，このマーケットからドライブされる形で，機体の設計要求を定量化した．ただしここで実現すべき世界は従来の宇宙ミッションのように単発かつその連続という形式では全くなく，５０機の観光丸フリートを毎日繰り返し運航し，１０年以上のオーダの時間にわたって持続的に運航する状況を作ることによって，経済的に成り立つ事業が可能となるという，従来の宇宙ミッションの計画立案とは全く異なる状況を作ることをゴールとした

ものである．

機体設計などの技術的検討のみならず事業の成立性の検討，一般大衆を乗客として受け入れ，乗客の安全を保証するための技術的検討，航空機の耐空性審査のような国のオーソリティがライセンスをするための仕組みや，これらの活動を商業的な活動の世界で行うことが出来るための法体系の議論などについて，観光丸を標準機体として，これらの乗客の安全の確保と商業活動として行うための広範囲な考察が繰り広げられた．奇しくもアメリカでは連邦航空局（FAA）が同様の検討を始め，相互の乗り入れも行われたが，観光丸の実現した世界の，大量高頻度の宇宙輸送のゴールはFAAの検討する世界よりも先を見据えているものであった．

即ち，宇宙への輸送手段が生まれて50年または60年の時間が経ち，冷戦の世界を背景としてアポロに代表される大規模な税金を使った投資が行われた時代，およびその延長として国家が事業として行う宇宙開発の文脈の中では，いわゆる官需のみによって輸送コストを桁違いに下げるための技術が進み，民生のマーケットが拡大することを期待するのは困難である．次の発展は民間の投資によって営利事業として，一般大衆化と経済合理性の意味で成り立つ世界を作ること抜きには実行できない，と言う動機に端を発している．90年代から2000年の初頭にこのような研究活動が広範囲に行われたことを記録することはこれに携わった者の責務であると考えこの論考を記した．観光丸のあぶり出した世界は，今の宇宙への輸送の世界とは，その内容や事業規模，および関係する事業者の範囲などは現在の宇宙活動とは桁違いの広がりを持つものである．

図９　大量高頻度の宇宙旅客輸送のイメージ

スペースシャトルが就航してその次の輸送機はもっと素晴らしいものにしようとするムーブメントが1980年代後半から2000年代にかけてあった．他方で2010年代にはシャトルは退役し，有人輸送は50年に渡って運航されているソユーズのみが使われる状態が続いている．使い捨てロケットの再使用化のムーブメントは今も各所で行われ，民間ベンチャーなどによる実用の世界に適用する動きもあるが，観光丸の描き出した世界はそれらの仕事のさらに先の先当たりにある．我々は現在でもその目標点に到達していないが，その目指すところの宇宙輸送のゴールは普遍的であり，観光丸のスタディであぶり出された世界の描像は今も全く色あせていないし，ロケットの次の目標を再認識させるに十分な内容となっている，と言ってよいであろう．これらの観光丸のスタディの成果が，今後のより長期のより大きなスケールで宇宙輸送の将来を考える材料となれば幸いである．

参考文献

1) Boeing & many Industries, “CSTS: Commercial Space Transportation Study Final Report,” April 1994 http://www.hq.nasa.gov/webaccess/CommSpaceTrans
2) Hunter, M. W.,"The SSX-A True Spaceship", J. Practical Applications in Space, vol.IV, No.4, 1993
3) Gaubatz, W. A., Klevatt, P.L. & Cooper, I.A.,"Single Stage Rocket Technology", IAF-92-0854, 1992
4) Collins, P., Iwasaki, Y., Kanayama, H. & Ohnuki, M., "Commercial Implications of Market Research on Space Tourism", J. Space Technology and Science, Japanese Rocket Society, vol.10, No.2, 1994
5) 日本ロケット協会運輸研究委員会「宇宙旅行用標準機体「観光丸」設計報告書」, 1995年8月
6) 日本ロケット協会運輸研究委員会「宇宙旅行用標準機体「観光丸」開発・製造費用報告書」1997年4月
7) 日本ロケット協会運輸研究委員会「垂直離着陸型宇宙旅行記の安全性基準に関する検討報告書」，2001年3月
8) 「見えてきた宇宙旅行実現のゴールとハードル」，日本ロケット協会宇宙旅行事業化研究委員会 1998年9月
9) 「宇宙旅行」における旅客の安全に関する医学的検討—最終報告書—日本宇宙航空環境医学界「空の旅医学研究会」宇宙旅行医学小委員会，2000年8月
10) 「商業宇宙輸送のための法制の概念−法制研究報告−」日本ロケット協会民間輸送用法制研究委員会 2000年1月
11) 「宇宙旅行を航空のインフラ基盤で実現しよう−宇宙旅行事業化研究フォーラムの活動−」日本ロケット協会宇宙旅行事業化研究フォーラム，2002年2月
12) "Special Issue on Space Tourism," Journal of Space Technology and Science, Japanese Rocket Society, Vol. 9, No. 1, 1993
13) "Special Issue on Space Tourism, part 2," Journal of Space Technology and Science, Japanese Rocket Society, Vol. 10, No.2, 1994
14) 「エアライン型ロケット実現への課題」，ロケット研究シンポジウム（第１回—第４回）日本ロケット協会，1998年6月
15) 「旅客輸送宇宙船に求められるものは？」ロケット研究シンポジウム（第５回，第６回）日本ロケット協会，2001年6月