

短足の系譜その2

小野塚知二

第二次世界大戦後のボーイング社はドイツより入手した後退翼の技術を用いて、戦略爆撃機B-47（原型初飛行一九四七年）とB-52（五二年）を相次いで開発します。B-47に利用可能だった機関は、推力一六・七kNの小型戦闘機用のものでした。それを翼下に六発装備しても推力不足で、離陸のためにはロケット機関の束を胴体後部に付設して、盛大な煙を吐きながら離陸した後はロケットは切り離して投下するという、特殊な運用法を余儀なくされました。もちろん、長い脚などのもつてのほかです。B-52はB-47原型の四倍の離陸重量で、推力四七kNの機関八発で長大な滑走路からろうじて離陸可能というありさまでした。現在の大型ジェット機の最大離陸重量と機関総推力の比は三九〇〜四一〇kg/kN前後の狭い範囲に収まりますが、B-47とB-52はそれぞれ、六二六と五四三で、通常の滑走路での離陸は不可能で、ロケット補助推力に頼ったり、燃料の少ない状態で離陸した後に空中給油を受けるなどの特殊な運用が必要でした。

ボーイング707

ボーイング社の最初のジェット輸送機は社内名称367-80で、一九五四年に初飛行しました。当時利用可能だった機関はB-52に装備されたのと同じJ-57（民間用名称JT-3）で、推力は四七kNにすぎませんでした。この非力な機関四発で大型ジェット機を完成させるために、ボーイング社の技師たちは胴体を細くし、脚を短くするという247型以来の設計方針を継承しました。367-80は微細な補正を施して、B-52の運用に絶対的に必要な空中給油機KC-135として大量発注されます。

ボーイング707はこの367-80を元に設計されましたが、367-80の胴体直径一三二インチ（三三・五・三cm）では容量不足で、乗客数や貨物積載空間を十分に確保できないため、直径一四四インチ（三六・五・八cm）への拡張を企画します。これなら余裕をもって横に五列の座席を並べることができそうです。ところが、競合機のダグラスDC-8が一四七インチ（三七・三・四cm）で設計していることが判明すると、航空会社はそれよりも幅広の胴体

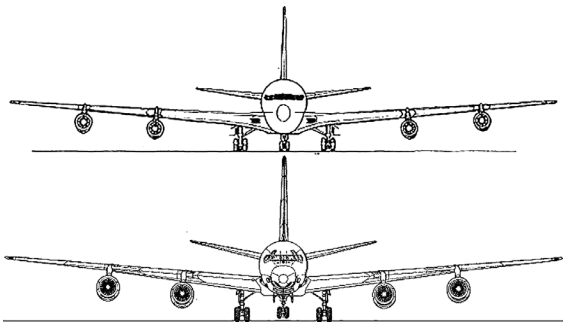


図1 ボーイング707（上）とダグラスDC-8（下）の正面図

を求め、結局707の胴体直径は一四八インチ（三七・五・九cm）へとさらに広げられました。ここでボーイング社は欲を出して、この胴体に横六列の座席を押し込もうと考えました。内径は三・五mほどで、ぎりぎり六列を収めることができました。一九五〇年代のアメリカ人成人男性の平均身長は一七七・一cm（現在の日本人男性は一七二cmほど）で、BMIも二四ほど（現在の日本人男性より少し高め）です。つまりアメリカ人の平均体重は当時七五kgほど、現在の日本人男性が七〇kgほどです。現在の日本人男性より明らかに太目の人を六人横に並べることをボーイング社は七〇年前に決定してしまつたのです。座面幅四五cm程度の客席と肘掛けを横に六人分並べて、五〇cmの通路幅は確保できますから、窮屈ですが、乗れないことはありませんし、緊急時の脱出要件も満たしました。現在のアメリカ人成人男性の平均体重は九〇kgほどですから、

この胴体に横六列はいかにも窮屈すぎるのですが、後述のように、いまも多くの航空会社は六列で運用しています。

機関配置への影響

707はボーイング社の遺伝子（非力な機関で大きな機体を飛ばすために、脚を極力短くする）を受け継いで、短足です。あまりにも短足であるため、機関配置にも影響が出ています。図1で競合機DC-8と比べてわかるのは、全体的に機関が外側にあることです。機関を翼に装備する場合、なるべく胴体近くにしないと一発停止時の機関推力中心が胴体中心線から大きく外れてしまい、直進させるためには垂直尾翼を大きくして、方向舵を大きく切らなければなりません。上反角のある主翼で、内側機関を胴体に近づけると、機関下端と地面との間隔が狭まり、吸気口に石などの異物が入りやすくなるので、707は他に類例がないほど外側に機関があります。翼下に四発を装備した旅客機は707やDC-8のほかに、コンヴェア880、同990、747、11-86、11-96、BAe 146、エアバスA 340、A 380がありますが、平面図か正面図を見比べてみると、707の機関配置が際立って外寄りであることが目立ちます。

DC-8の内側機関は胴体中心線から七・八四mなのに、707は一〇・三二mと二・五mも外側にあります。外側機関もDC-8より三m以上外側にあります。それゆえ、707は機関一発が停止した場合の推力中心線はDC-8よりもかなり外側にずれま



図3 737-500のおむすび型の吸気口

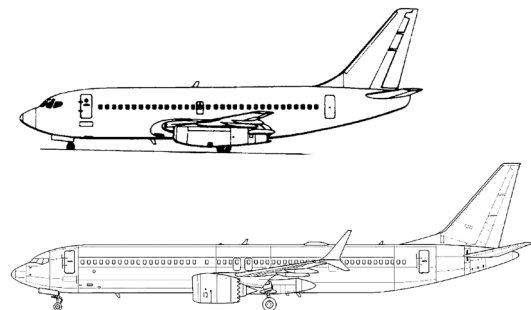


図2 737第1世代(上)と第4世代(下)の側面図

(1300、1400、1500)からは脚柱を伸ばして、CFM 56を装着するように改造するか、あるいは、初めからCFM 56を装備するように脚柱を長くし、主翼も再設計した737の短胴型で対応すべきだったのですが、ボーイングはどうしたわけか短足の系譜にこだわります。

短足の737にCFM 56を装備するために、第二世代および第三世代(1600、1700、1800、1900)では機関全体を主翼前縁の前に出すことで、機関下端と地面との間隔を確保しようとした。それでも、吸気口の下端が地面に近すぎるため、おむすび型の吸気口(図3)という他機にない工夫を凝らしたのだ。

ところが、原型機の367-80は、垂直尾翼が小さいうえに、方向舵は人力(操縦士の両足の力)で操作していたため、一発停止時の方向舵操舵力が大きすぎて、操縦困難でした。この欠陥は707初期型まで受け継がれ、機関をJT-3Dに換装した707-320型から、垂直尾翼が大型化され、方向舵も油圧操舵に変更され、一発停止時の操縦性も改善されました。それでも、707の重量/推力比は四七三に達しており、機関の非力さはまだ否めません。

長胴化と機関換装の制約

短足であることが707に与えたもう一つの外形的な特徴は長胴化と機関換装を阻んだことです。707の量産型の全長が四六・四二m、DC-8(10-50系)の全長が四五・九〇mとほとんど差がなく、それゆえ客席数や積載貨物容量も大差ありませんでしたが、航空需要の拡張に応じて、ダグラス社は一九六〇年代後半に長胴化したDC-8-60系を開発します。殊にDC-8-61と-63は胴体を一一・二mも延長して五七・一mとし、最大座席数を従来より三三四割ほど増やして二五〇席超としました。707も同様に席数を増やしたのですが、短足ゆえに、胴体を長くすると離着陸時に機首を引き起こした際に、機尾が滑走路を擦ってしまう(御巣鷹山に墜落した日航747の事故の遠因)ため、抜本的な長胴化は不可能でした。また、一九七〇年代後半には高バイパス比(燃焼室に流入

する空気量に対する、燃焼室を通らずに機関外に排出される空気量の比)で、静粛性に優れ、また燃費も低い機関が開発され(米GEと仏スネクマの合弁CFM 56)、DC-8-60系は次々とこの新型機関に換装されたのですが、これは機関直径が太いため、短足の707への換装は見送られ、多くの707が騒音規制や燃費高騰から早期退役を余儀なくされました。

ボーイング737という長寿命機

ボーイング社は一九六〇年の時点ですでに窮屈になっていた707の胴体断面と六列座席をその後720、727、737、757の各型に用います。特に720、727、737は機首と前脚もそのまま流用して、開発費用を節約しました。720は707の短胴版で機関も一回り小型、727は機尾に機関三基を装備したので、いずれも短足の制約は露呈しませんでした。737は主翼下に機関を装備する形式であったため、開発当初からさまざまな苦労をします。

まず第一に、主翼幅が707よりもはるかに短くなったので、707の内側機関と同じ位置に機関を取り付けたならば、一発停止時の方向維持は不可能になります。したがって、707の内側機関よりも内側に機関を取り付けなければならず、主翼下面に直に貼り付けるような具合に装備しました。図2の上側が737の初期型(第一世代の737-200)ですが、機関下端が地面とすれすれであることがよくわかります。初期型は合計一一〇〇機以上の受注があったのですから、次の第二世代

第二世代が二〇〇〇機、第三世代は七〇〇〇機も売れたので、737は充分すぎるほどに元が取れたはずなのですが、ボーイングは次の第四世代(737 MAX)も、胴体と脚の大改造はせず、一九六〇年の原設計を使い続けます。777や787などの新型機の開発に予算を回し、737の新世代開発には徹底的に費用を節約する方針が露わでした。おそらく、実際の販売条件も競合機のエアバスA 320(初飛行一九八七年)よりも航空会社の負担にならなかったようで、ライアンエアやサウスウエスト航空など経営姿勢が特に攻撃的なLCCと第三世界の財務状況が必ずしも良好ではない航空会社が737第三、四世代を大量に発注・運航しています。

CFM 56よりバイパス比が高く、燃費が低く、直径の大きな機関は第二、第三世代のやり方でも装着できず、737第四世代はさらに多くの無理を重ねているようにみえます。その詳細を図面とともに書き出すと連載一回分くらいは優に必要なので、興味のある方は「737 MAX、トラブル」などの鍵語で検索してみてください。二〇一九〜二〇二五年がボーイング社最悪の七年などと言われるようになった原因のほとんどは、この短足の系譜の末裔にあります。737原型の開発から六〇年、その胴体と短足の開発は七〇年前という長寿命機の老残の姿はいまも各地の空港にあります。

おのづか・ともじ
東京大学特任教授/名誉教授