

宇宙デブリの状況 (残留ロケット・残留衛星)

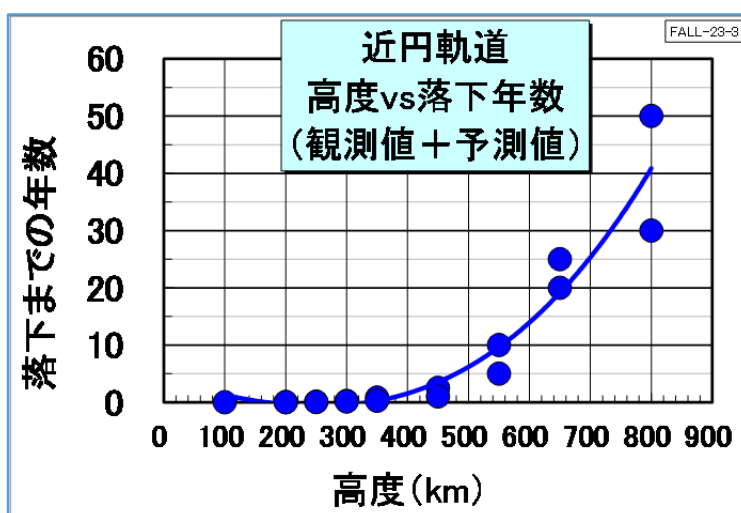
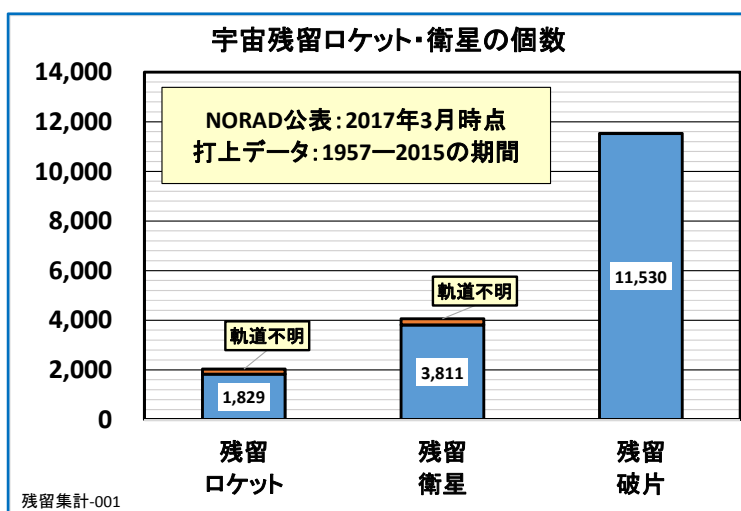
情報通信研究機構

小澤 啓佑

宇 宙開発が始まって以来、これまでに多数のロケット・衛星が打上げられてきた。本資料では、2015年までに打上げられたロケット・衛星のうち、現在（2017年3月時点）も宇宙に残留しているものについてその軌道を調査した（軌道情報はNORADの公表情報による）。

- ✓ 約2,000機のロケット、約4,000機の衛星が現在軌道に残留している（右上図参照）。このうち約200機のロケット、約250機の衛星については軌道情報が公表されていないが、その多くは月・太陽などの軌道に投入されたものである。
- ✓ 残留しているロケットは、上段ロケットや軌道アップ用のアポジモータなどである。
- ✓ 残留衛星については現在運用されているものも含んでいる。

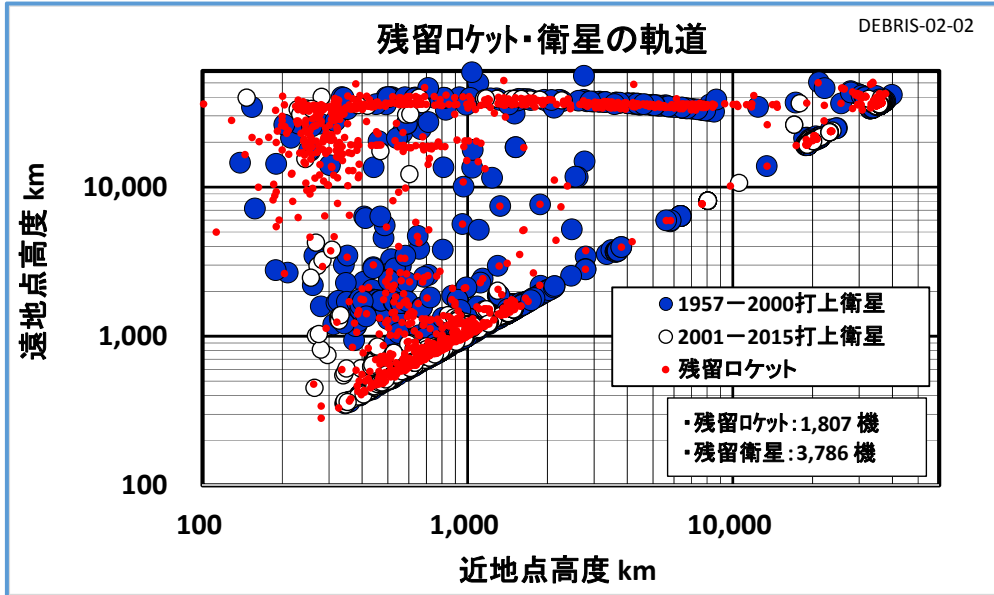
ロケット・衛星が地上に落下するまでの年数は、おおむね右下図の通りである。



軌道高度 vs 落下までの年数

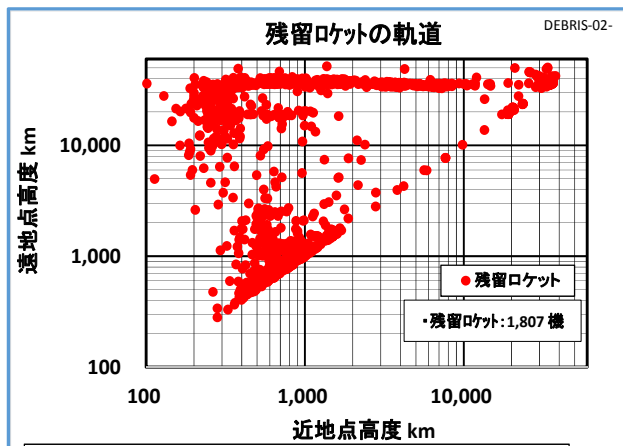
1. 残留ロケット・残留衛星の軌道

下図は、高度 100km~60,000km の軌道に残留するロケット約 1,800 機と残留衛星約 3,780 機の軌道位置分布である（一部軌道が不明の衛星があり、これを除外している）。2001 年頃以降に打上げた衛星には現在運用中のものがあると思われるため、グラフ上では 2000 年以前に打上げた衛星と 2001 年以降に打上げた衛星に分けて示している。

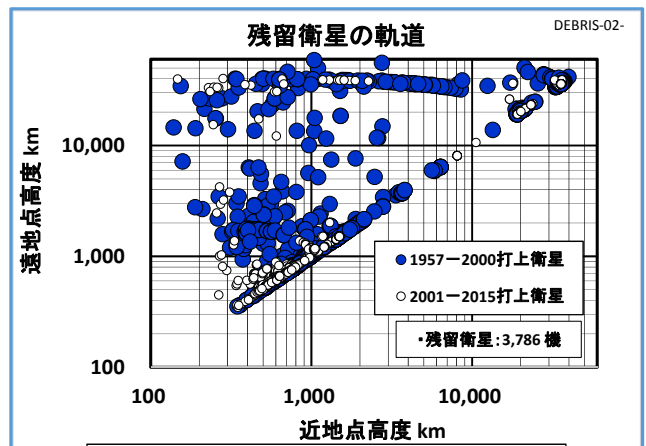


下記左図は残留ロケットの軌道、右図は残留衛星の軌道を別に示したものである。比較的残留物体の密度が高い軌道は以下の通りである。

- ◇ 高度 400km~千数百 km の低軌道
- ◇ 高度 36,000km 近辺の静止軌道
- ◇ 遠地点高度 30,000km~40,000km の楕円軌道
- ◇ 高度 20,000km 近辺の GPS 衛星軌道



残留ロケット (約 1,800 機分)

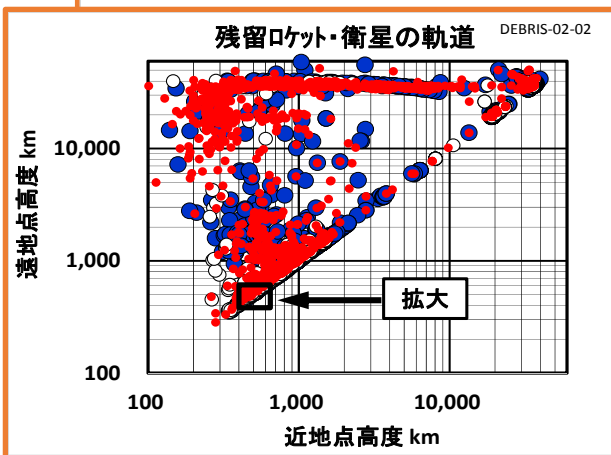
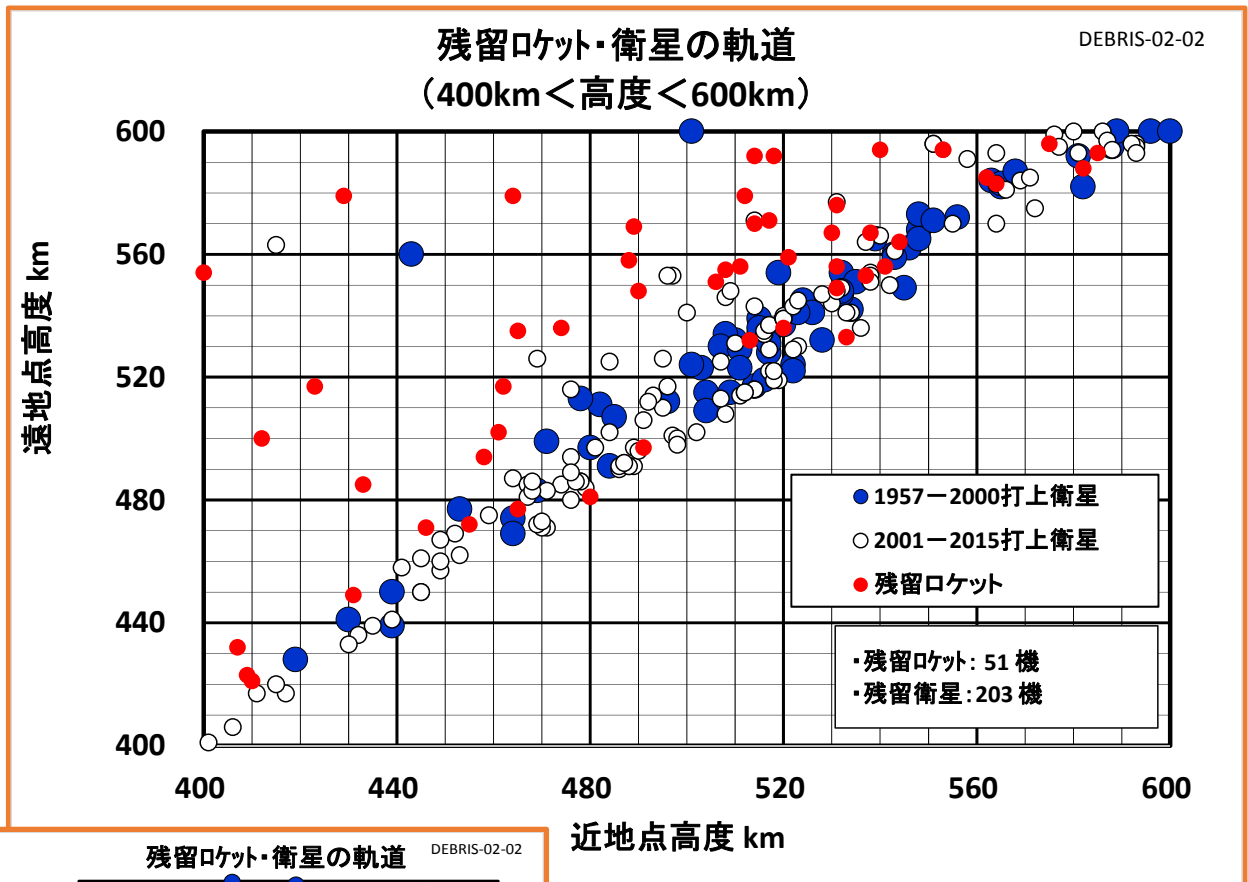


残留衛星 (約 3,780 機分)

2. 主要な軌道の残留ロケット・残留衛星

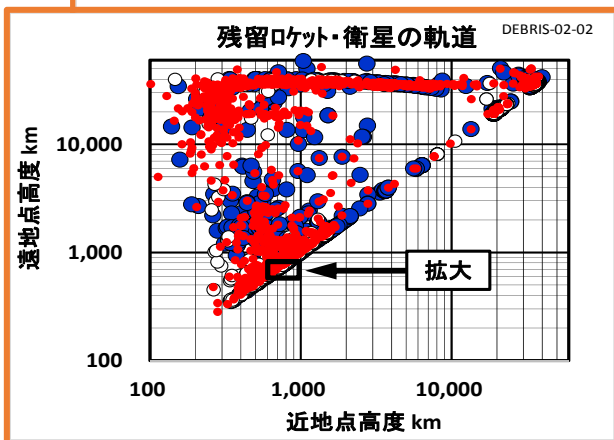
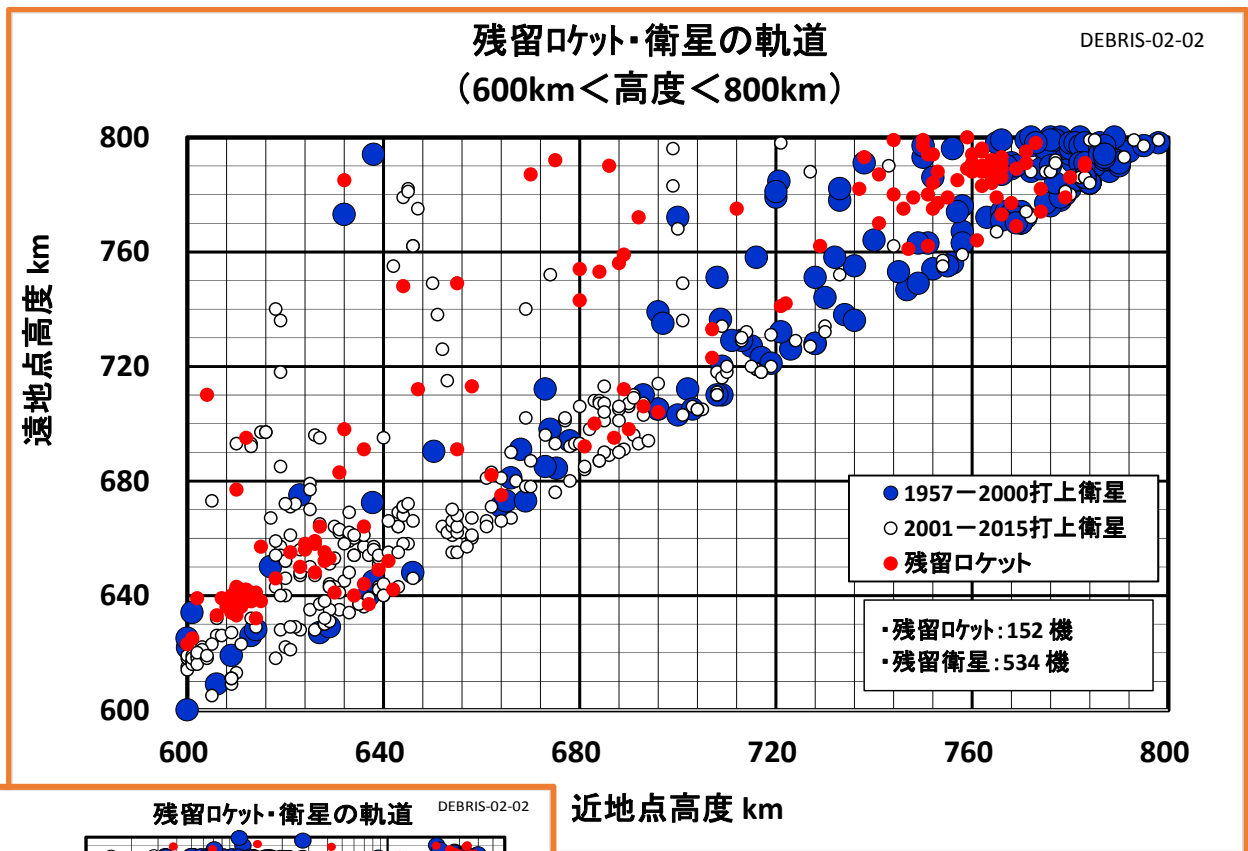
(1) 低軌道 400km~600kmの残留ロケット・残留衛星

高度 400km~600km の軌道は、次ページに示す高度 600km~800km の軌道に比べて残留ロケット・衛星の密度は低く、またこの高度 400km~600km の残留物は数年から 10 年程度で地球に落下することから、これら残留ロケット・残留衛星同士が衝突する危険性は小さいと思われる。しかし、2001 年以降衛星の打上数は増えており、注意は必要である。



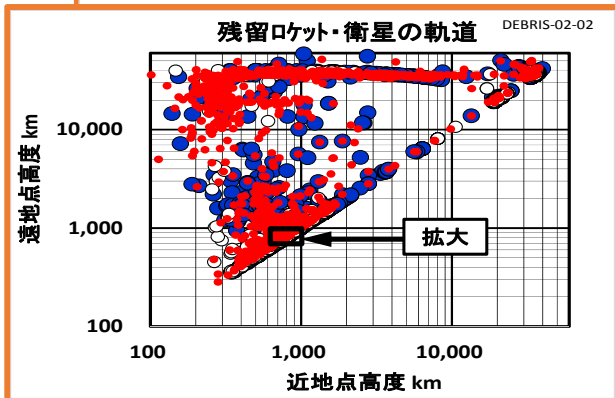
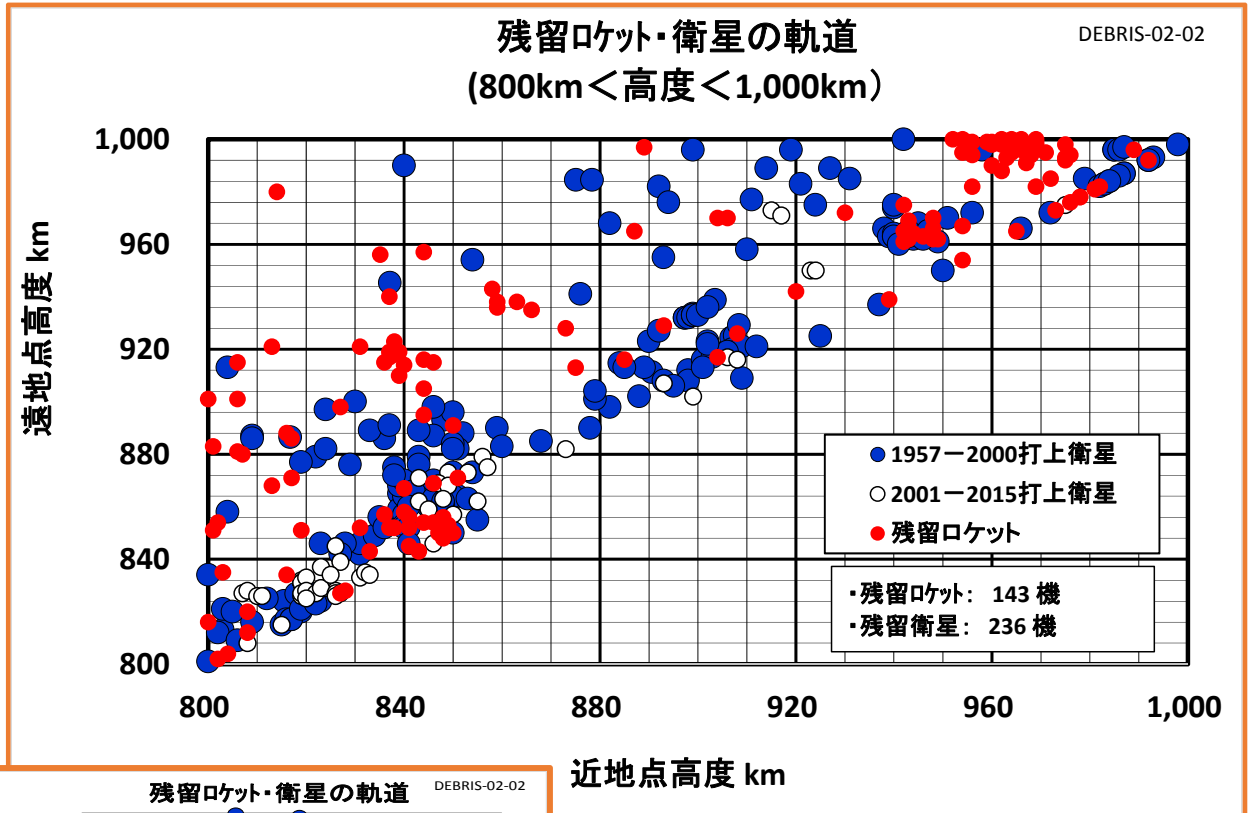
(2) 低軌道 600km~800km の残留ロケット・残留衛星

高度 600km~800km の軌道は、低軌道の中では最も残留ロケット・残留衛星の密度が高い。また 2001 年以降も多数の衛星が打上げられており、この高度では地上落下までに数 10 年から 40 年程度かかることから、今後残留ロケット・衛星の数は確実に増加して行く。2009 年には、この高度帯に属する米国の Iridium 33 衛星とロシアの Cosmos 2251（いずれも高度 780km の円軌道衛星）が衝突し、多数の破片を発生させている。このような衛星同士の衝突の確率は極めて低い事象ではあるが、一旦衝突が起きると、それにより生じた破片と衛星との衝突の確率は格段に高くなることから、宇宙デブリへの対策の必要性が認識されており、500km~1,000km あるいは 700km~1,000km あたりの軌道に残留するロケットや衛星の除去の検討が内外で進められている。



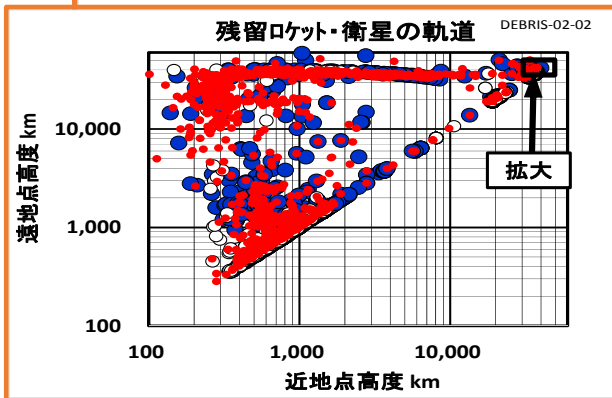
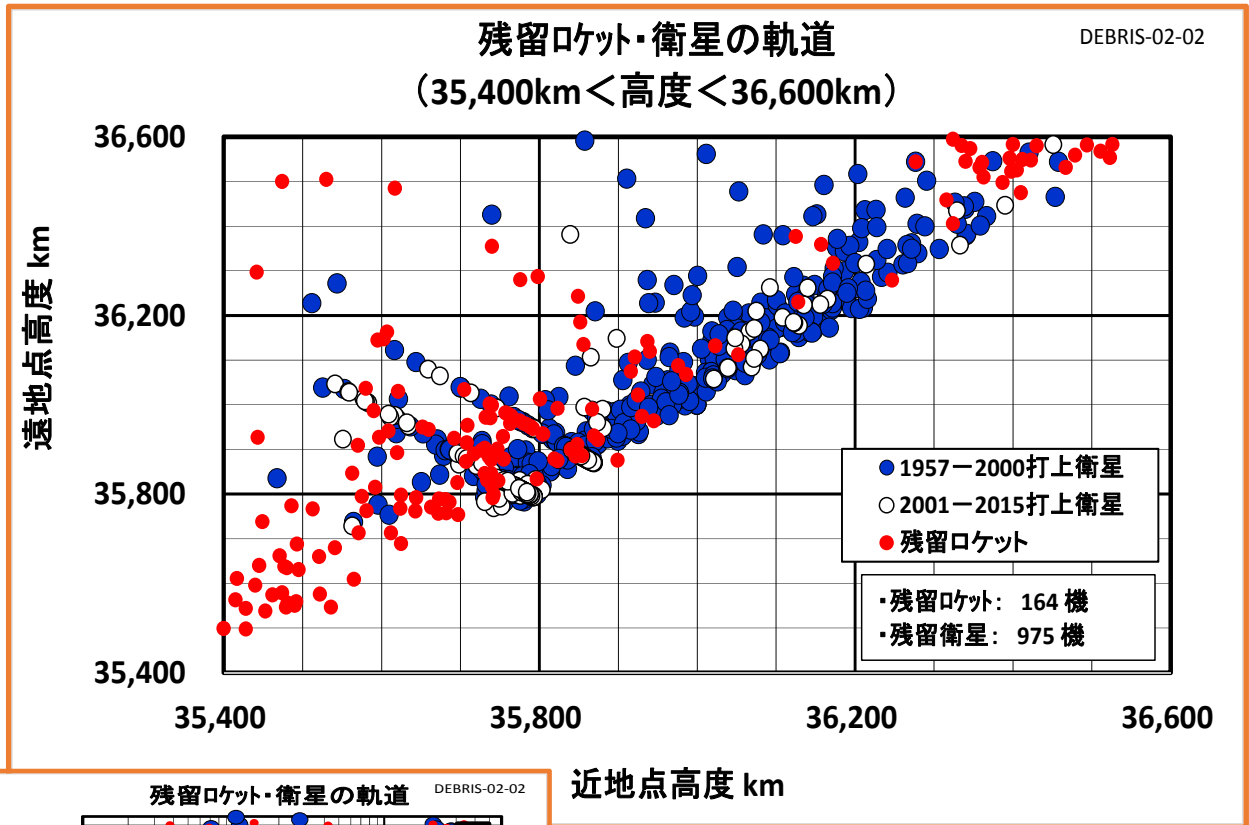
(3) 低軌道 800km~1,000km の残留ロケット・残留衛星

高度 800km~1,000km に残留するロケット・衛星は現在のところ少ない。しかしこの高度帯の物体の地上落下までの年数は 50 年~1,000 年と長く、今後も残留物の数は増加することになる。衛星・ロケットの使用後のデオービットなどの対策が必要である。



(4) 静止軌道の残留ロケット・残留衛星

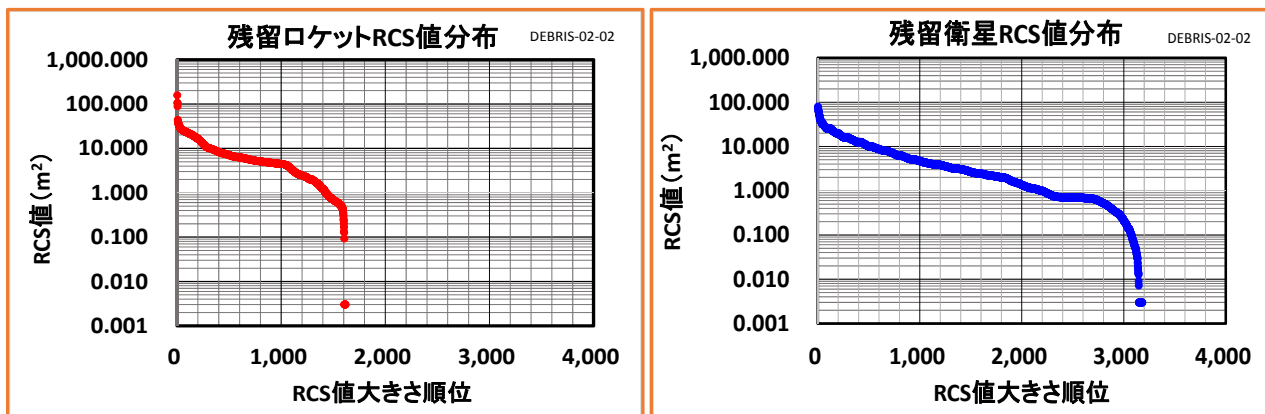
静止軌道の物体は半永久的に同じ高度に留まる。2001年以降も活発に静止衛星の打上げが行われており、今後残留ロケット・衛星の密度が高まって行くと思われる。静止軌道は重要な軌道であり、残留物体の除去のための方策の検討が必要である。



3. レーダ断面積 RCS 値の分布

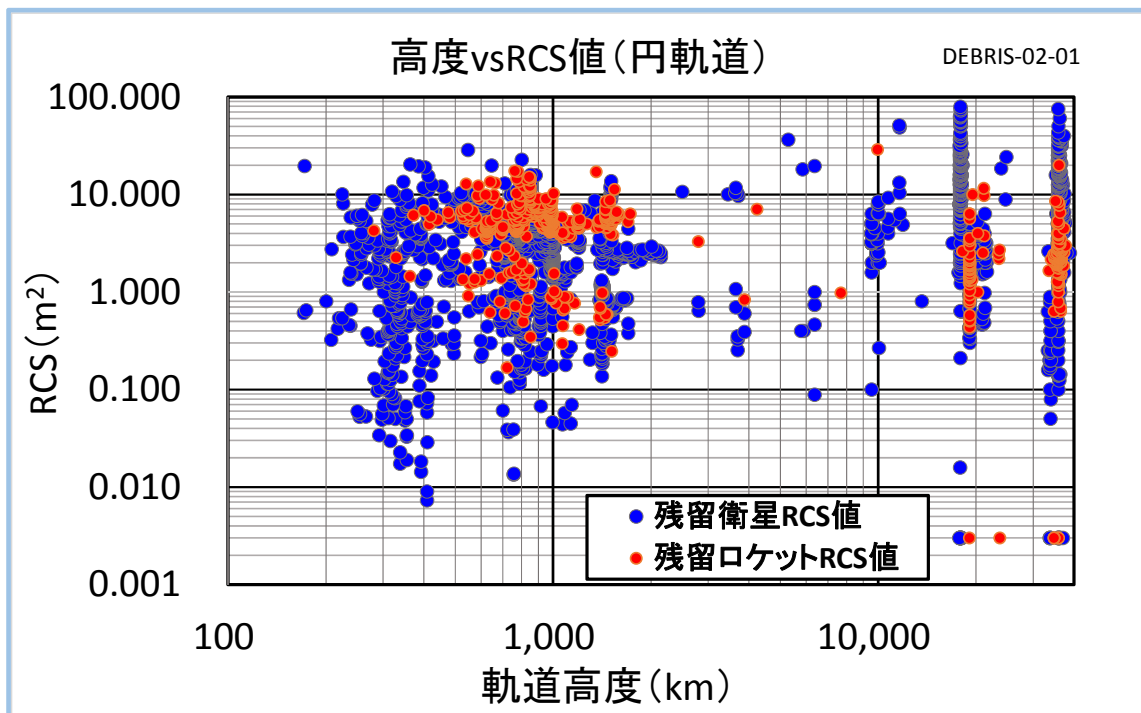
(1) レーダ断面積 RCS 値の大きさ分布

下図は、残留ロケットと残留衛星のレーダ断面積（RCS）の大きさの分布を示している。RCS の値はおおむね $1\text{m}^2 \sim 10\text{m}^2$ のものが大半である。



(2) レーダ断面積の高度分布（円軌道のもの）

下図は残留ロケット、残留衛星のうち円軌道を回っているものについて、高度と RCS 値を示している。高度と RCS 値との間には顕著な相関は見られないが、高度の低い位置（400km 未満）には RCS 値がやや小さい衛星が残留し、高度の高い位置（20,000km 以上）にはやや大きめ目の衛星が残留している。



著者紹介

小澤 啓佑

1969年 科学技術庁宇宙開発推進本部（同年10月宇宙開発事業団に改組）に就職、ロケット打上管制業務に従事、通信衛星3号(CS-3)の開発、通信放送技術衛星(COMETS)の開発、データ中継技術衛星(DRTS)の開発、画像衛星の開発に従事している。