

NASA上層大気調査衛星(UARS)の 再突入及びリスク評価

(仮訳)

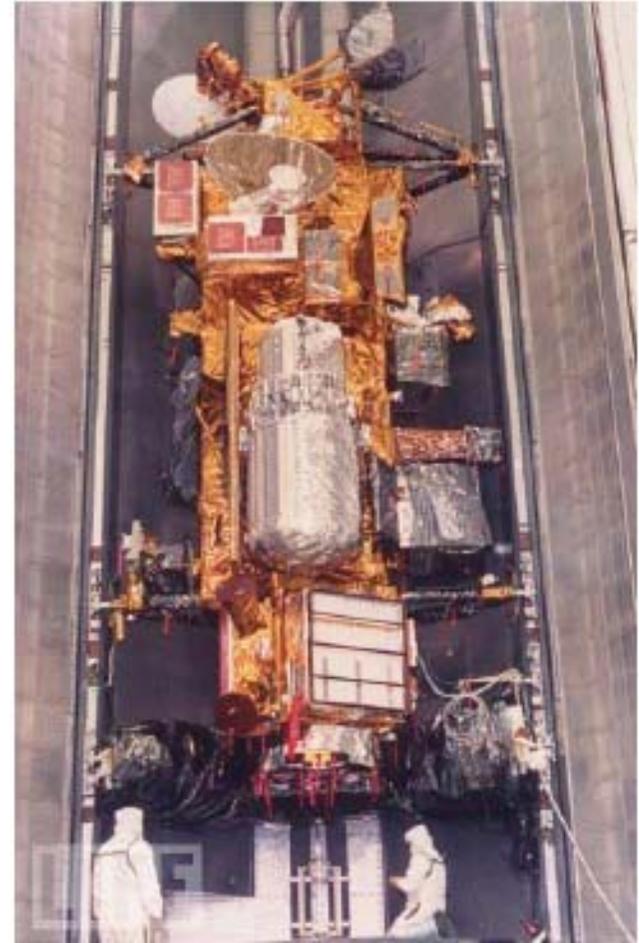
NASAオービタルデブリ・プログラム・オフィス
リンドン B. ジョンソン宇宙センター

上層大気調査衛星

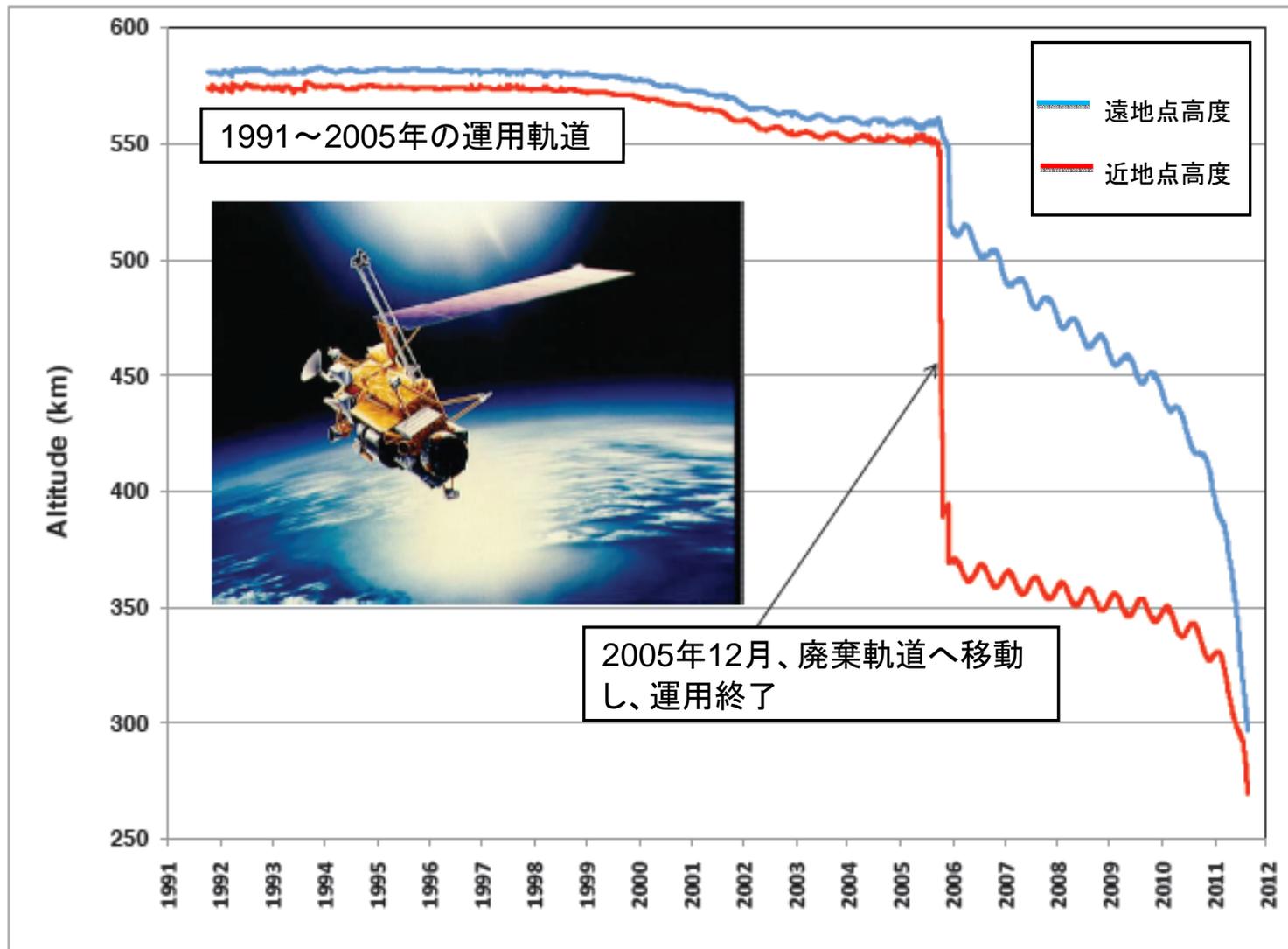
- 打上げ: 1991年9月12日 STS-48にて打上げ
- 軌道展開: 1991年9月12日
- 国際識別番号: 1991-063B
- 米国衛星番号: 21701
- 乾燥質量: 5,668 kg
- 初期運用軌道: 575 ~ 580 km 傾斜角度57度
- 運用終了: 2005年12月15日

軌道寿命短縮のための廃棄操作

軌道残存寿命は20年間短縮



UARSの最近の軌道の遷移状況



米国の再突入予測

- 非制御の宇宙物体に関する公式の再突入予測の情報源は、米国戦略司令部(USSTRATCOM)の統合宇宙運用センター(JSPOC)である。
- 通常の手順は公衆に以下の時間間隔で準備、通知(Space-Track.orgのwebサイト経由)されるTIP(追跡・衝突予測)メッセージである。
 - T – 4 days, T – 3 days, T – 2 days, T – 1 day, T – 12 hours, T – 6 hours, and T – 2 hours
- TIPメッセージは再突入時刻と位置の最良の予測値を提供するが、大きな不確定性を持っている。ほぼ円軌道であれば、再突入時刻の不確定性は2時間前で平均して ± 25 分である。これは地表面の距離に換算して $\pm 12,000$ kmに相当する。
- 最終的な再突入後のアセスメント・メッセージは通常再突入の2～3時間以内である。

IADCによるUARS再突入のモニタリング

- 1996～1997年、機関間スペースデブリ調整委員会(IADC)は危険な衛星の差し迫った再突入に関して、追跡データと再突入予測情報の交換のための、再突入リスク物体のデータ通信ネットワークを構築した。
- 当該ネットワークのメイン・サーバはドイツ・ダルムシュタットのESOCに設置されている。
 - インターネットのアクセスは二重パスワードで保護され、各IADC加盟機関ごと1名の代表者に限定されている。
- 通信ネットワークの演習は通常毎年行われている。
 - 最初の演習は1998年で、2010年まで12回迄続いた。
 - 目標物(自然軌道減衰)はコンセンサスで選定される。
 - 演習の結果は実時間であるいは再突入後に公衆に通知するものではない。
- NASAの推奨で、IADCはUARSを2011年の「IADCリスク物体演習」の対象とすることを承諾した。

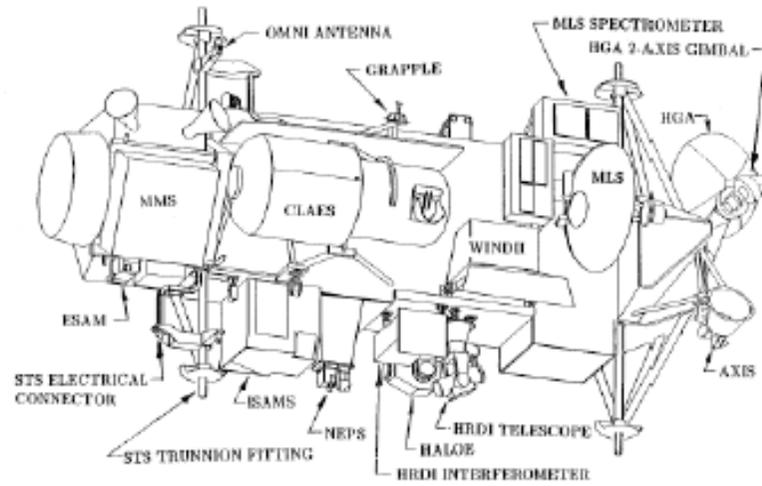
UARSはIADCのリスク物体の定義を満たしていない。

NASA再突入リスク対応力

- 再突入する衛星についてのNASAの最も信頼できるソフトウェア・プログラムはORSAT(再突入物体残存性解析ツール)と呼ばれるものである。このプログラムは:
 - 宇宙機、打上げロケットの機体、その他の人工宇宙物体の構成要素について、亜軌道、軌道、深宇宙飛行経路から大気圏に再突入する間の残存性を評価する。
 - 非制御再突入に伴う対人傷害リスクを評価する。
 - 居住地域や南極の永久氷床を避けるため、制御された再突入に関連する残存破片の分散状況を特定する。
- ORSATはこの二十年の間、NASA、国防総省、その他国内外の多くのプログラムを支援してきた。

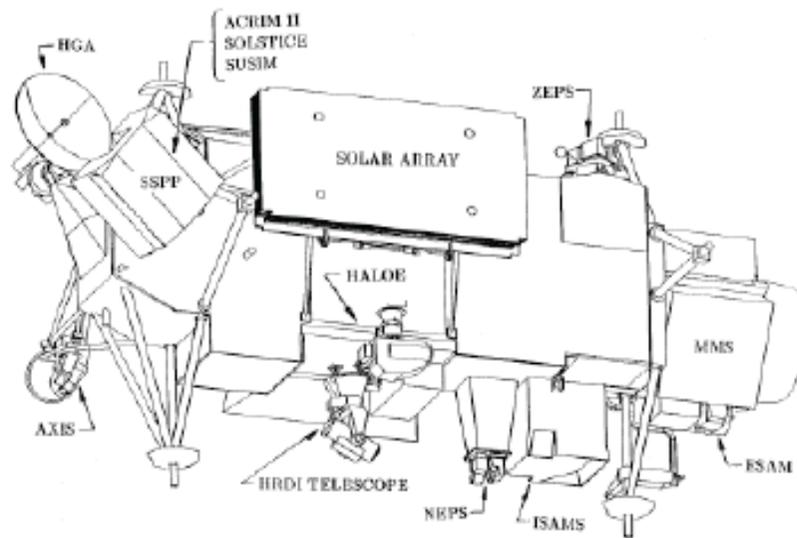
ORSATの主なアウトプットは、コンポーネントの消滅高度、または、位置、残存質量、落下の際の運動エネルギーである。

UARSの基本的コンポーネント



Starboard View

Port View



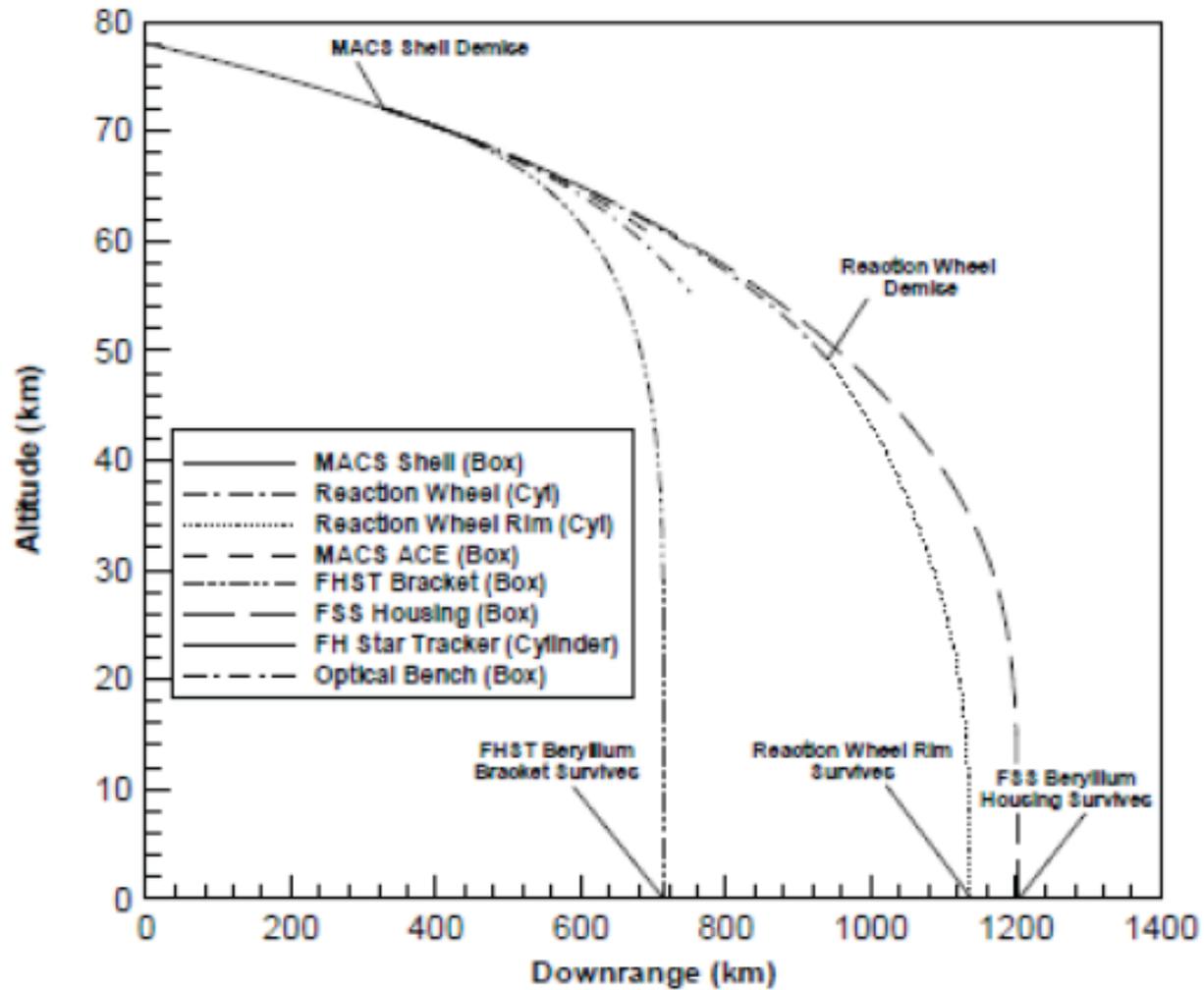
UARSの傷害リスク評価

- NASAは2002年にUARSの詳細な再突入リスク評価を実施した。
 - 残存すると予想される潜在的に危険な物体の数: 26 個
 - 残存すると予想される物体の合計質量: 532 kg
 - 対人傷害予測リスク(2011年に更新): 1/3200

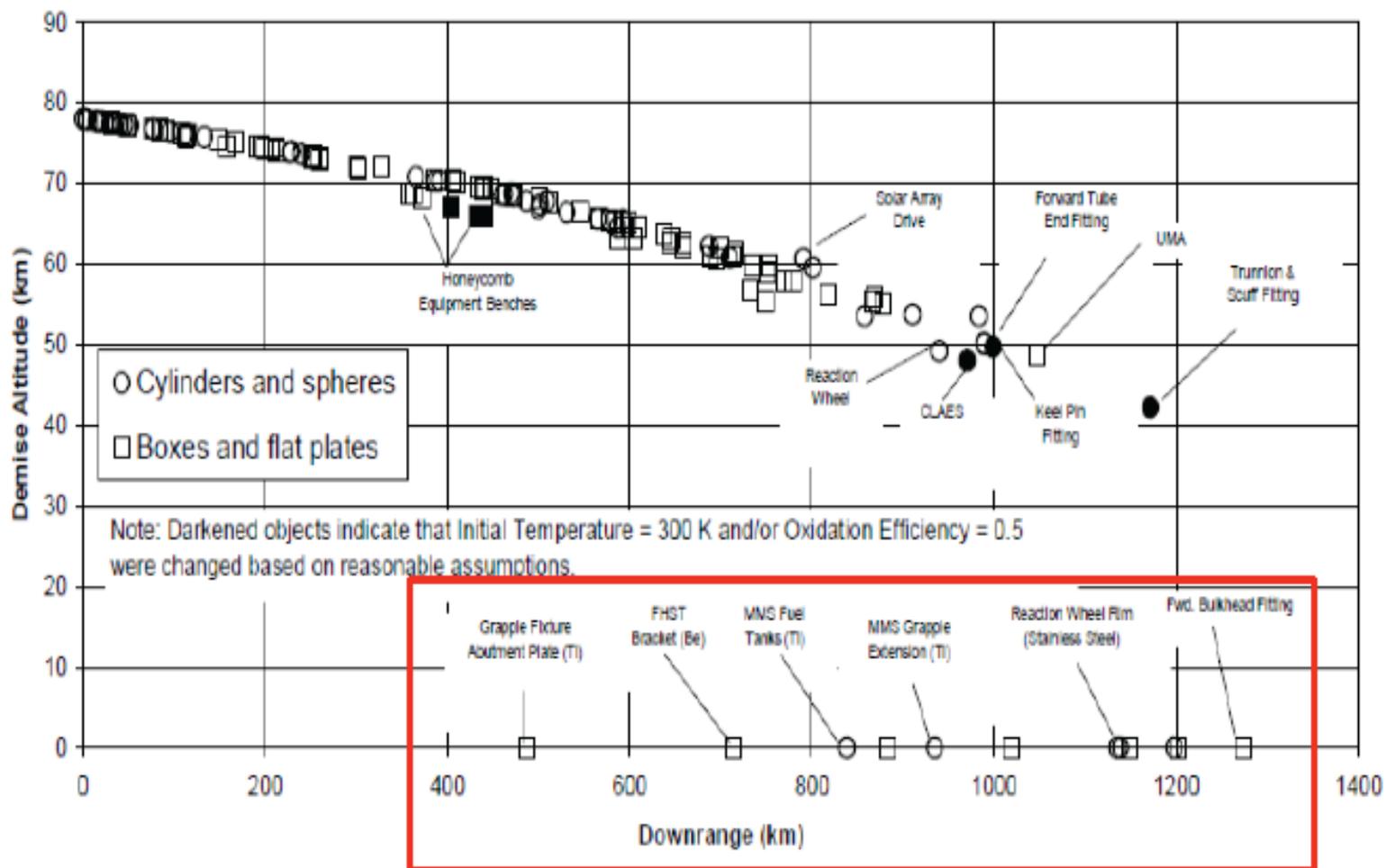
Object Description	Material	Qty.	Type	Initial mass (kg)	Impacting mass (kg)	Impacting vel. (m/s)	Impacting K. E. (kJ)	Downrange (km)	Debris casualty area (m ²)	Impacting cross section area (m ²)	Mass/CS area (kg/m ²)	Impacting ballistic coeff. (kg/m ²)
HGA gimbal & reten.	Titanium	1	Cyl.	98.81	27.03	43.91	26.07	1197.56	1.32	0.301	89.80	119.58
Fwd bulkhead fitting	Titanium	4	Box	24.91	24.91	79.07	77.88	1274.16	0.66	0.0463	538.60	379.30
SSPP gimbal	Titanium	1	Cyl.	60.65	60.65	58.10	102.36	1138.72	1.36	0.322	188.47	207.80
SSPP structure	Al 2024-T8	1	Box	158.30	158.30	44.02	153.38	1019.70	2.44	0.928	170.59	120.13
MMS fuel tanks	Titanium	4	Sphere	5.17	5.17	25.55	1.69	838.55	0.94	0.138	37.48	40.74
MMS MPS batteries	SSteel 304L	3	Box	45.78	45.78	64.57	95.43	1149.34	0.91	0.126	362.97	255.61
Reaction wheel rims	SSteel 304L	4	Cyl.	2.04	2.01	107.26	11.54	1134.95	0.43	0.0028	710.02	678.79
FSS housing	Beryllium	1	Box	3.13	3.13	78.02	9.53	1201.73	0.46	0.0060	524.74	369.54
FHST bracket	Beryllium	2	Box	1.09	1.09	18.26	0.18	713.20	0.63	0.0368	29.60	20.85
G. F. abutment plate	Titanium	2	Flat pl.	2.30	2.30	14.28	0.23	486.58	1.22	0.255	9.02	12.76
G. F. base plate	Titanium	2	Flat pl.	5.51	5.51	35.80	3.53	883.43	0.83	0.098	56.35	79.70
G. F. extension	Titanium	1	Cyl.	3.39	0.64	21.40	0.15	934.93	0.56	0.0215	29.95	28.59
TOTALS		26		607.92	532.38				22.38	3.49		

Note: Totals account for quantity while the value listed in the table accounts for only one object.

ORSAT の出力例：
高度制御モジュールサブシステム(MACS)の部分溶融



残存デブリの軌道に沿った分散状況



残存コンポーネント

要約

- UARSが設計・製造・打上げられた時点では、NASAや米国政府において、対人傷害再突入リスクに対する制限値は存在しなかった。
- NASA、米国政府、及びいくつかの海外の宇宙機関は、再突入する宇宙物体に起因する対人傷害リスクを1万分の1以下に制限することを模索している。
- UARSは中間サイズの宇宙物体である。UARSより大きな物体の非制御再突入はそれほど頻繁ではないが、まれであるとは言えない。
 - ードラゴンの実物大模型とファルコン9第二段機体の結合体が2010年6月に再突入したが、これらの方が大きかった。
- 宇宙時代の始まり以降、宇宙物体の再突入によって負傷者が出たという信頼すべき報告はない。
- NASA、国防総省及びIADCは、UARSの軌道減衰及び再突入を注意深くモニタしていくであろう。