

成層圏プラットフォームの交通面への利活用に関する基礎的研究*

A Study on the features and expected achievement of Stratospheric Platform in the Traffic Engineering

水上 幹之**

By Motoyuki MINAKAMI

1. 本論の背景と目的

衛星を活用したリモートセンシング技術は、1970年代から土木工学の様々な面において活用されてきた。最近、1m程度の解像度を有する高解像度衛星データの取得が目前に迫っていることもあり、高解像度画像データの利用方法が議論されている。また、無線通信分野・地球観測分野の面において、成層圏プラットフォームの開発が日・米・欧州の3極を軸に盛んになってきている。

本論は、成層圏プラットフォームに関して、その開発背景やその基本的な特徴を明らかにし、交通面への利活用等について基礎的な考察・検討を行ったものである。

2. 成層圏PF(プラットフォーム)の開発背景

(1) リモートセンシングと交通

航空機による空中写真測量に代表されるように、リモートセンシングは、土木工学においての基本のひとつである。また、交通計画・交通工学においても飛行機や飛行船による上空からのリモートセンシングによる交通現象の把握等従来から、活用研究がなされてきた。地上からの情報だけでは、道路網全体の交通状態を把握するには困難を伴う。渋滞情報が現実の交通状況を直接的にリアルタイムに提供するに至っていないのも、地上の路面からの定点観測情報だけでは限界があるためである。

これを解決する方策としては、例えば、個々の車両の情報システムを活用する方策等が考えられるが、限られた範囲であれば、上空からの直接的観測も有効である。光学センサを用いての交通流の直接的観測が可能となる。

成層圏プラットフォームの場合、約20kmの高度を有しているため、直径20km程度の直接的交通流観測は可能であるし、通信の面でも、伝播遅延が殆どなく、未利用域の準ミリ波やミリ波が使用できる。

*キーワード：成層圏プラットフォーム、調査論、リモートセンシング

**正員：建設省土木研究所 道路部 道路研究室

電話：0298-64-2211, Fax:0298-64-0178

電子メール：minakami@pwri.go.jp

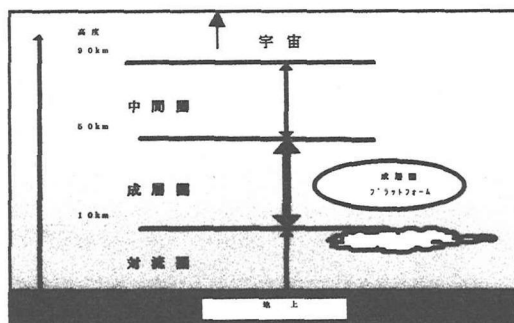


図-1 成層圏の位置

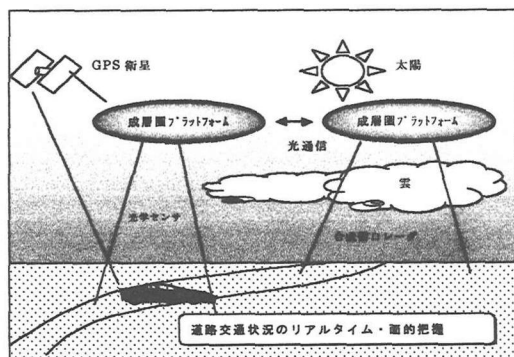


図-2 成層圏プラットフォームのイメージ図

(2) 上空の空間構成

上空からのリモートセンシングについては今まで主として、①衛星の活用：宇宙空間、②航空機・飛行船の活用：大気圏域といった2つの圏域活用を中心に展開されてきた。その内、成層圏10～50kmは、気象観測においては重要な圏域なので、気球などの観測が毎日行われている。空気は約地上数百km～1000km程度まで存在するが、上空の空間構成を図化すると図-1のようになる。

成層圏は、対流圏のような雲はできない常時快晴の領域である。軍事・気象以外の分野では、こうした成層圏域のような超高空からのリモートセンシング情報は、今まで民生用では殆ど利用されていなかった。

何故、この成層圏域だけ、未開拓領域であったのかについてであるが、これには以下の理由がある。

それは衛星のような軌道物体であると、空気層の密度が濃いために、直ぐに落下してしまう領域であり衛星では使用できなかった。それに反して、気球は別として、空中を飛行したり常時浮遊したりするには逆に大気が薄すぎるため、気密性が高く、超高速で移動可能な軍事用の特殊な飛行機以外この領域での飛行が不可能であったこと等が上げられる。

すなわち、空気密度が衛星では濃過ぎ、通常の飛行では薄すぎたのが未踏の領域となっていた最大の原因である。また、人間がこうした超高空域において、飛行しようとする気圧の問題、酸欠の問題等を抱えることになることも原因として上げられよう。成層圏での気温は零下50度という低温ではあるが、対流圏に比べ、気温・湿度ともに安定しているこの空間の利用が成されなかったのは、こうした成層圏自体に足掛かりである拠点を構築することが難しかったことにある。

(3) 成層圏プラットフォームの開発状況

ところが、近年の高分子・化学材料の発達は、炭素繊維等を生み出し、非常に軽量な飛行構造物が造れるようになった。また、CAD・CAMによる高度な機体設計が可能になったことに加え、情報通信技術の発達によって、ロボット技術によるUAV (Unmanned Air Vehicle:無人飛行機) も造れるようになって来た。

ロボット技術の発達により、昨年は、ロボット飛行機による大西洋横断も成功している。無線通信技術の発達により、遠隔操作が適用可能となる空間が広がった。広大な空間におけるロボット制御が可能となった。成層圏飛行といっても、人が乗り込む必要がなくなったわけである。これは特に軍事面で顕著に見られ、現在、先進諸国で検討されている偵察飛行機は、ロボットタイプのものが多い。

さらに2つの技術革新が決め手となった。近年、太陽電池のフィルム化が可能となり、軽量で柔軟、しかも発電効率が極めて高い太陽電池が造れるようになって来た。

この太陽電池のフィルム化により、飛行機の翼に太陽電池を貼れるようになったので、燃料を供給しなくても、太陽光さえあれば、飛行機や飛行船の動力を得ることが可能となった。そして、リチウム系充電電池など小型で軽量な

充電電池の開発によって、太陽発電が得られない場合であっても、飛行船・飛行機用の動力源が確保できるようになった。小型軽量の充電電池により、夜間飛行・夜間制御が可能となった。

成層圏は、対流圏のような雲が無いため、太陽光が最大限活かせる環境である。

かくして、上記の技術革新と日中は常時太陽エネルギーが使用できるという成層圏の特徴とあいまって、成層圏域に滞在可能な拠点を構築することが可能となってきた。

それで、最近、日米欧の3極を中心に、成層圏プラットフォームの開発検討の機運が急速に盛り上がってきた。

3. 成層圏空間の特徴

さて、開発の対象となっている成層圏の空間特性をまとめると以下になる。

現在調査中・試験段階中を迎えている各種成層圏プラットフォームの高度は、約20kmのものである。対流圏上空には、ジェット気流があるため、それを抜け出た上空である20~22kmが特に穏やかな気象であるので、この領域が今のところ対象領域として検討されている。

通信の方から考えると、高度は高い程、カバー範囲が高くなるが、空気密度の問題が出て来るので、成層圏PFを構築するのは非常に難しくなる。従って、適切な高度として、約20km前後が検討されている。成層圏の特徴をまとめると、下表のようになる。

成層圏域の場合、気候が穏やかであり、地上のように湿度もないことから、構造物にとっては、環境は、それほど厳しくない環境であると言えよう。

数年のメンテナンス・フリーが十分行える環境である。

表—1 成層圏空間の特徴

	成層圏	飛行機(約1000m)	宇宙空間
平均温度	○零下50度程度。	△10度程度。	△太陽面と影の差が激しい。
湿度差	◎殆どない。	×数十度。	△太陽面と影の差が激しい。
空気密度	○約15~20分の一	×約0.9(エネルギー損失大)	◎殆どゼロ。
温度	◎地上に比べ僅か。	×温度は基本的に高く千差万別。	◎ゼロ。
気流	○時速100km/h程度。 但し、低密度なので、地上換算して、 風速1~2m/sec程度。	×気流変化激しい。	×ゼロ。
太陽光	○星時は、フルに使用可。	△晴天時でない并使用できない。	○周回軌道では、約90分おきに太陽光をフルに利用可。 ◎静止軌道では、地球の影以外は、太陽光をフルに利用可。

即ち、この温暖な環境は、衛星並みのライフサイクルを提供する環境である。また、取り替えも容易で、技術進展に応じて、容易に更新可能な柔軟性に富むシステムである。

4. 成層圏プラットフォームの開発状況

PFのタイプとしては、①飛行船タイプ②飛行機タイプの2つがあり、①は定点に停留する方式②は飛行する方式である。①の飛行船タイプのものは、積みこむ貨物量：ペイロードの重さにもよるが、今のところ、1トンのペイロードで250m級の飛行船が構想されている。日本の郵政省及び科学技術庁や欧州宇宙機構（ESA：Europe Space Agency）及び米国のベンチャー企業である Sky Station 社を中心に検討がなされ、②の飛行機タイプのものは、米国NASAのドライデン研究所を中心に研究されている。翼長が長い、太陽光動力プロペラ機であり、既に実験機は、ハワイ上空25kmの数ヶ月の超高空域・滞在を達成している。世界最大の自動車メーカーであるGMが資本提供しているベンチャー企業：Aeroenviromental Inc.社がこの成果を基に、翼長約100mのもので実用化を目指している。

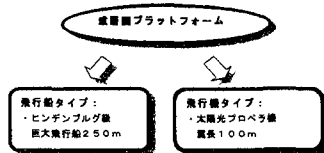


図-3 成層圏PFのタイプ

5. 成層圏PFの開発動機

さて、このように、成層圏PF開発が世界各国で、大競争となりつつあるのだが、開発されるに至った経緯には、以下の2つがある。ひとつは、情報通信技術の面からの要求である。

家庭から幹線までの光ファイバ網の構築が遅れているが、衛星や上空を使用した情報通信であると、一気にそれを解決する可能性がある。

しかしながら、静止衛星を使用すると、伝達遅延が往復で0.25秒程出てしまい、双方向通信によるコンピューティングには不向きである。低軌道衛星にすると、イリジウムのように数十個もの衛星を必要とし、巨額の投資が必要となる。鉄塔では、電波の届く範囲が限られてしまい、また、建物の影に隠れると電波が弱くなったり、届かない

ということが生じる。地上系に光ファイバを施設するには、時間とコストが掛かり過ぎるといった課題がある。

そこで、成層圏域高さ20kmに、電波受送信の拠点を築くと、電波遅延は、0.000067秒しか生じないので、全く問題にならない。また、上からの電波であるので、建物の影に隠れることは少なくなり、さらに、このような特徴から、未使用領域である準ミリ波やミリ波が使えるようになる。成層圏PFは、このように主として情報通信のさらなるデジタル社会の発展のために、構想が練られてきた。

また、成層圏PFの開発気運が盛り上がったのは、別の要素もある。それは、この領域は未踏領域であり、殆ど開

表-2 成層圏プラットフォームの特徴

	Information Satellite	Stratospheric Platform	Very Highly Airplane	Ordinary Airplane
Altitude	500km ~ 700km	30km ~ 60km	20km ~ 30km	数100m ~ 3000m
Speed km/h	20,000km/h	1000km/h	1000km/h	500km/h
Remote Sensing	Optical Sensor ① 1mm程度の解像度 ② 晴天の時のみ、画像を得ることが可能 ③ 周回性を持っており、同地点を撮影するには、少なくとも1日が必要 ④ プレのない撮影が可能 ⑤ オルソデータが可能	① 衛星の光学センサーをそのまま使用することはできないが、成層圏PF用デジタルカメラが開発されると数cm単位の解像度を得る可能性大。 ② 高解像度マルチスペクトラムセンサーを用いて、道路路肩の状況を把握する可能性大。	① デジタル光学センサーの開発が必要 ② マウントの開発が必要 ③ 解像度は極めて高くなる可能性大。 ④ ステレオにするには、真が軟らかすぎるという欠点がある ⑤ 大量のデジタルデータ	① デジタル画像処理を行うのに、時間が掛かり過ぎる。
	Ladder Sensor ① 数mの解像度 ② 雨天時もOK	① 衛星や航空機用のSARをそのまま使用することはできないが、マウントの工夫で、可能に ② より高速の機動性が求められる。	① 雨天時もOK。 ② 0.6mの解像度 ③ 広範囲を数日で列島撮影可能 ④ ステレオ画像取得。	① 雨天時もOK。 ② 範囲が限られる。
Climate Influence (機体側)		全くなし	① 基本的にはないが、飛行場が悪天候だと離陸できない。	① 悪天候だと不可
Positioning System		① GPS衛星からのデータを受ける	① GPS衛星からのデータを受け、位置決めが通常の定常であるが、定点・上空滞在なので、新たな位置制御が可能。 ② 全く新しい超高精度な位置システムの開発が可能。	① GPS衛星からのデータを受ける。
Tele communication	Time Rag	・ 静止軌道や、高度度の衛星軌道であるため伝達遅延が生じるため運用に不利には使用できない。低軌道衛星だと数十個の衛星が必要となる。	① 20kmしか離れていないので、極めて遅延がない。	① データの遅延はないが、飛行機内での運用システムがあれば、必要なし。 ② 高速で走り抜けてしまうので、テレコムは基本的に合わない。
	Frequency	① 約1GHzから10GHz、いわゆる電波の窓。 ② 雨天も比較的影響ない。	① 準ミリ波、ミリ波が使用できる。 ② 雨天も比較的影響ない。	① データ転送の考え方は、定まっているが、高速で移動するので、テレコムには合わない。
	Noise	① 伝送距離が長いので、雑音が多い。	① 伝送距離が短いので、雑音が少ない。	データ通信の概念違い。
	Digital Data Communi.	① 周波数の割り当てを有効活用するには、マルチビーム等が必要。	① 超高速・超大容量通信が可能となる。	① 向かない。

発が成されなかった空間であるため、冒険や挑戦の対象となっていることに起因する。

事実、NASAのドライデン研究所においては、最初から何かの目的が明確となっており、成層圏PFを構築しようとしたのではなく、「もっと高くもっとゆっくり飛ぶ飛行機

を開発したい」という未到領域の挑戦から始まったようである。

6. 成層圏プラットフォームの特徴

さて、上記のように成層圏PFの開発が盛んとなっているが、成層圏に恒常的に橋頭堡が確保できると、成層圏PF-地上系との間の情報通信だけでなく、地上の情報通信システムの全体構成にも多大な影響を及ぼす。

成層圏PFが約20kmに構築されたとして、カバーできる範囲は、迎角10度で約100km程度であるが、成層圏PFの最大の特徴は、上空での常時観測が可能という点であり、合成開口レーダを使用すると雨天にも関係なしに、観測可能となる点である。また、衛星に比べ高度が低いので、非常に高い解像度が期待できる。

7. 新コンセプト超高精度・リアルタイム位置情報システム：

SPS：Sky Positioning System の構築

GPSの信号を使用する限り、基本的に距離があることや周波数も1.2GHz、1.6GHzと高くない。従って、D-GPSやRTK-GPS等様々な補正方法はあるにせよ、基本的に、高速の超高精度な測位は難しい。

そこで、ここでは、成層圏PFを活用した全く新しいコンセプトであるSPS：Sky Positioning Systemを提案したい。このSPSは、成層圏PFをいわば、空中の電子基準点にして、まず、SPSの位置そのものを超高精度に出して、SPS自体から、あたかもGPS衛星が電波を出すように電波を出すというコンセプトである。

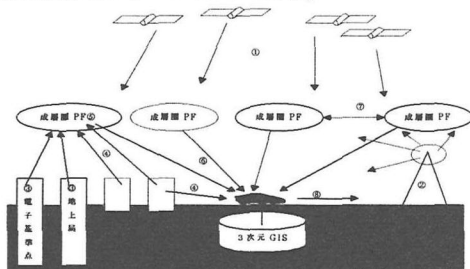


図-4 SPSのイメージ図

幸い、電波時計の開発により、原子時計レベルの時刻精度は比較的容易となってきたり、また地上には、現在既に1000箇所以上の電子基準点が構築されている。この電子基準点をアクティブに電波を発する基準点とすることによって、上空に滞在する成層圏PFの位置が正確に解るようになり、その位置を今度は地上に降ろす。衛星と同じように、4つ以上の成層圏PFで、地上の移動体の位置は判

明する。GPS衛星と違うのは、極めて正確な位置情報が成層圏PFより発射されること及びより高精度となる周波数の高い周波数が使用できることである。道路上の車両位置が数ミリ単位で解るようになれば、仮想GIS上で、交通の動体予測が可能となり、安全走行の支援サービスに對し、革命的な役割を果たす可能性がある。

表-3 超高精度・リアルタイム位置情報システム：SPS

方式	位置の精度	一方向	軍方向+3次元GIS	高速移動体
GPS	数メートル	・ナビ	・ナビ ・交通渋滞	○
D-GPS	数メートル	・ナビ	・交通渋滞モニター ・運転支援	○
RTK-GPS	数cm	・ナビ ・運転支援	・交通渋滞モニター ・運転支援	△
SPS 超高精度 位置情報システム Sky Positioning System	数ミリを目標	・運転制御 ・高度運転支援 ・動的ナビ ・高度交通管理	・運転制御 ・高度運転支援 ・動的ナビ ・高度交通管理	◎

8. 今後の課題

成層圏プラットフォームという、未踏領域の上空への拠点が構築されることにより、地上でのマルチメディアや移動体通信システムの革新がおきつつある。移動体通信技術、国土空間データなどとの他分野との融合により更なる発展や利用方法の展開が期待されるが、道路交通においても、成層圏PFが現実化すると、その超高精度・リアルタイム測位サービスが提供可能なシステムが構築可能であることから、幹線道路のみならず、成層圏PFの広範囲エリアにわたる全ての道路ネットにわたる自動車の運行制御の方で現実化することが可能と思われ、今後のさらなる発展が大いに望まれる。

謝辞

本研究にあたり、郵政省・科学技術庁はじめ成層圏PF開発に従事されている方々には、いろいろとご協力を頂きました。ここに記して心より厚くお礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 長谷良裕、江口邦久、鈴木幹雄、「第一回成層圏プラットフォームワークショップ資料」、1999年5月、YRP研究開発会議、郵政省通信総合研究所、通信放送機構、科学技術庁航空宇宙技術研究所
- 2) 「衛星を利用する高精度GPSに関する調査研究会」報告書、1999年2月、衛星を利用する高精度GPSに関する調査研究会
- 3) 「成層圏プラットフォームの実用化に関する調査研究報告書」社団法人、1999年3月、電波産業会、
- 4) 野坂邦史、村谷拓郎、「新版衛星通信入門」オーム社、1994年3月