

直接受信衛星自動画像伝送データ (NOAA APT) の 分標識符号の時刻精度

藤 本 勉†

Time Accuracy of Minute Designation Marker Code of Direct Readout Satellite Automatic Picture Transmission (NOAA APT) Data

Tsutomu FUJIMOTO†

Abstract The Automatic earth observation Picture Transmission data, NOAA-APT, which polar orbiting satellite directly transmits includes every minute time marker. Time accuracy of the marker is not investigated, moreover any efforts to utilize the marker are not tried before. In this paper time accuracy of NOAA-APT minute time marker is investigated by comparing to the Japan Standard Time (JST).

1). The JST broadcasted by NTT and JJY is compared each other, and it is found that there exist several 10 milliseconds time delays in the JST broadcasted by NTT. This value restricts the accuracy of the time shown in this paper.

2). By using the maximum correlation method, which detects phasing point of time (starting point of time of scanning line) at the maximum correlation point of time between the pattern template that optionally extracted from NOAA-APT data, and NOAA-APT data, 99.7 % of correct phasing points of time are detected. Detected phasing point of time contains the Doppler time delay, and the value of which is found to be several milliseconds, that gives a good approximation with the results obtained by satellite orbital calculations. It is found that the Doppler delay is ignorable in this research.

3). A time marker is constructed with 8 burst tone signals with 250 milliseconds period, the starting point of time of the fifth burst tone is chosen as a representative time. It is found that the representative time of the NOAA-APT minute time marker shows about +1.3140 seconds delay from the JST

キーワード：分マーカ，時刻精度，APT，NOAA.

1. まえがき

極軌道衛星 (NOAA) が直接送信する自動地球観測画像伝送データ (APT, Automatic Picture Transmission Data, 以下 NOAA-APTデータと略記) を用いるリモートセンシングを実施する場合，データに対応する観測地点を特定する作業 (ナビゲーション) が不可欠である。この作業は，観測時刻における衛星位置に基づいて行う。NOAAが同時に送信する高解像度画像伝送データ (HRPT, High Resolution Picture Transmission) の場合は，各走査線データ

に含まれる観測時刻が衛星位置の推定に利用できる。しかし NOAA-APTデータの場合は，各走査線データには観測時刻に関する情報が含まれていないため [1]，データの受信時刻が観測時刻に等しいものとして衛星位置の推定を行う [2,3]。そのために生ずるミスレジストレーションはマニュアルで補正することが，従来より行われている。これは一連の作業の自動化を阻むため，ミスレジストレーションの自動補正も試みられている [4]。

NOAA-APTデータには分を示すタイムマーカは挿入されているが，その時刻精度を調査した報告はなく，タイムマーカの活用例も報告されていない [5,6]。

以上のような観点から，NOAA-APTデータの分タイムマーカの時刻精度を，日本標準時 (JST) と比較調査した。分タイムマーカの時刻精度に影響する要因としては，1) 衛星内部クロックの時刻エラー，および符号送出

(1998年9月24日受理)

†宇部工業高等専門学校電気工学科，宇部市
Department of Electrical Engineering, Ube National College of
Technology, Ube-shi, 755-8555 Japan

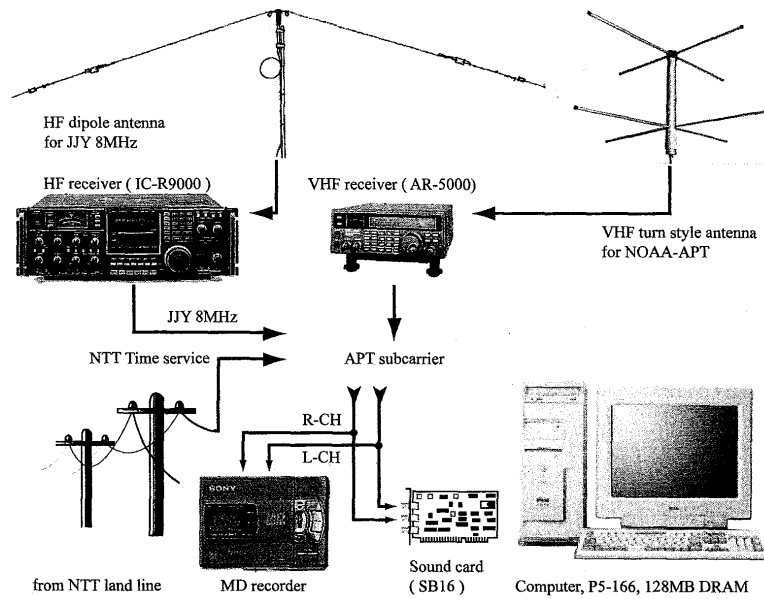


Fig. 1 Conceptual diagram for measuring time marker of NOAA-APT.

遅延時間, 2) ドップラ時間遅延を含む電波伝搬時間遅延, 3) 地上局側受信復号時間遅延, さらに, 4) 本研究において使用する時刻計測システム固有の問題としての時間軸精度などが考慮される。

1) 先ず, オーディオサンプリングシステムの時間軸に関する精度を調査し, 次いで時刻の標準に採用した日本電信電話(NTT)の報時サービスの時刻精度を標準周波数局(JJY)と比較することによって検証し, 調査時点において数十ms程度の時刻のずれが存在することを示す。

2) さらに, NOAA-APTデータは時系列データとして送出されるため, 走査開始端にある位相信号パターンを検出して, 走査線の切り分けをする必要がある。データ中より任意に抽出した位相信号パターンをテンプレートとして, NOAA-APTデータとの相関を求め, 相関が極大なるものを各走査の開始端と決定する相関法による位相検出法を試み, 99.7%の位相が正しく検出できたことを示す。

3) 検出された走査開始端の時刻は, ドップラ時間遅延を含むが, その値は数msであり, この値は衛星軌道計算から求めた結果と一致し, タイムマーカの時刻精度に与える影響は無視できることを明らかにする。

4) 最後に, タイムマーカは250ms周期の8個のバーストトーンで構成されているので, 第5回目のバーストトーンの開始端を代表時刻として計時した結果をJSTと比較して, 約+1.3140秒の遅れがあることを示す。

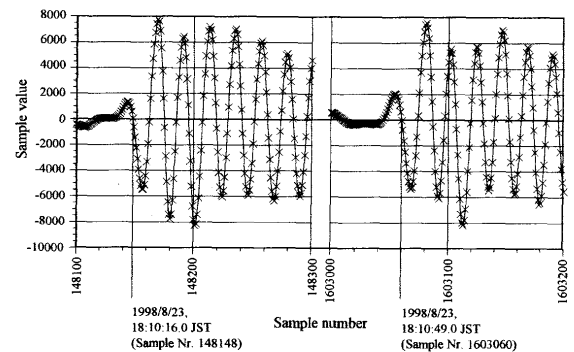


Fig. 2 Determination of sampling period.

2. オーディオサンプリングシステム

2-1. システムの概要

図1に計測に使用したオーディオサンプリングシステムの概念図を示す。NOAA-APTはVHF受信機でFM復調し, 画像データで振幅変調された2400Hz副搬送波を取り出す。時刻の比較基準としては, NTTの報時サービスを用いる。さらに8MHzのJJYで報時されるJSTをHF受信機で受信し, NTTによる報時時刻との比較に用いる。これらの信号は, パソコンのサウンドボード(Creative Lab. Sound Blaster 16)の左, および右チャンネルに入力し, 44.1kHz, 16bitでサンプリングしてWindows WAVEファイルフォーマットで保存する。同時に, これらの信号を

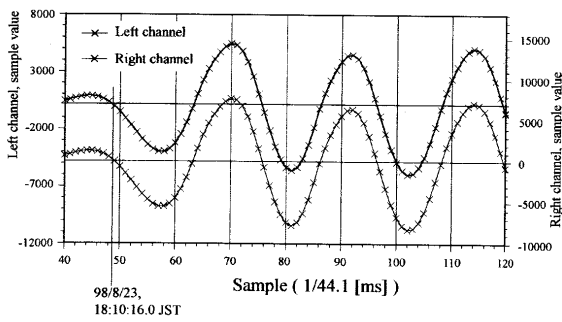


Fig. 3 Measurement of L-, R-channel sampling concurrency.

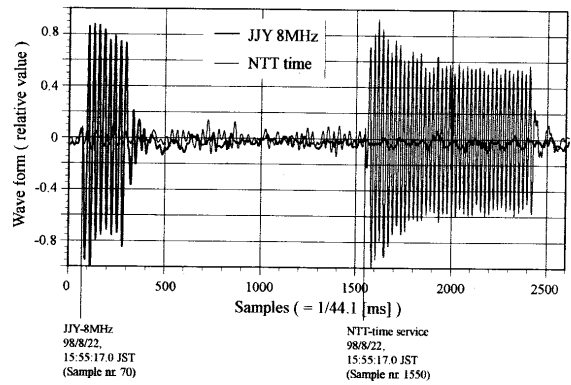


Fig. 4 Measurement of time difference between JST broadcasted by the NTT time service and by the Standard Frequency Station, JJY, 8MHz.

MDレコーダに記録し保存する。

2-2. サンプリング周期

オーディオサンプリングシステムのサンプリング周期 (公称周波数44.1kHz) を測定した。8/22/1998, 18:10:16.0 (JST) から8/22/1998, 18:10:49.0 (JST) まで測定した結果を図2に示す。これよりオーディオサンプリングシステムのサンプリング周期は1/44.08824msであり、サンプリング周波数の公称値に対して-0.03%の誤差を含む。

2-3. 両チャンネルのサンプリング同時性

オーディオサンプリングシステムの左右両チャンネルに同一信号を入力し、チャンネル間のサンプリングの同時性を検証した結果を図3に示している。チャンネル間

に利得の差異は認められるが、本研究に影響するサンプリングタイミングの有意なずれは認められない。

2-4. NTT報時サービスと標準周波数局(JJY)による日本標準時の時刻同期

時刻の比較基準として採用したNTTの報時サービスの同期精度を、JJYで報時されるJSTと比較した。8/22/1998, 15:5:17.0 (JST) における両者の信号波形を図4に示す。その結果、NTTによる報時には+33.5690msの遅れがあることが認められた。

JJYによる報時精度は10ms程度であり[7], NTTによる報時を基準とする本研究の時刻に関する精度は、数十ms程度であると考えられる。

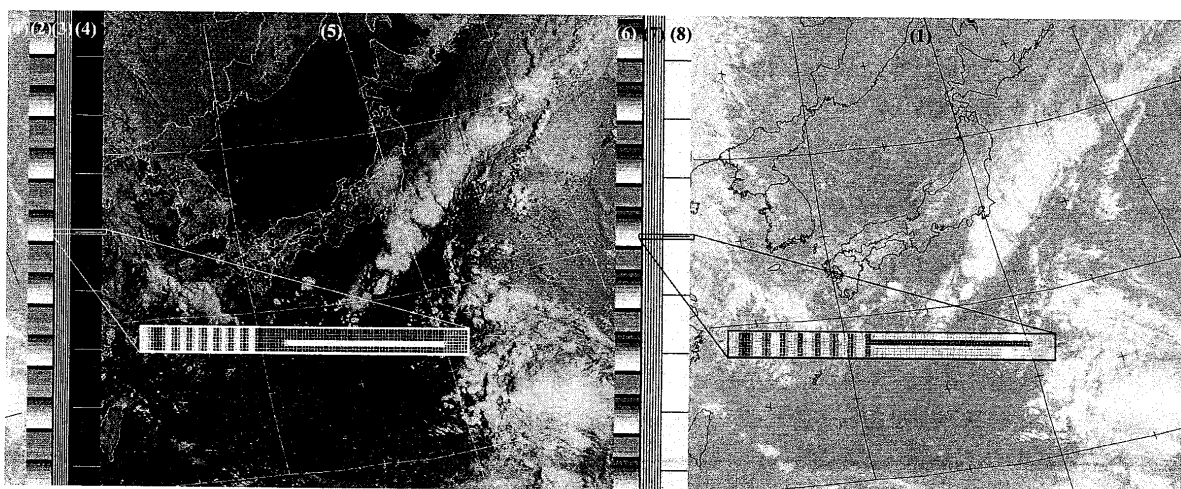


Fig.5 NOAA-APT data received directly from NOAA-15, revolution number 1426, morning south bound pass, on 8/22/1998, 07:34JST.

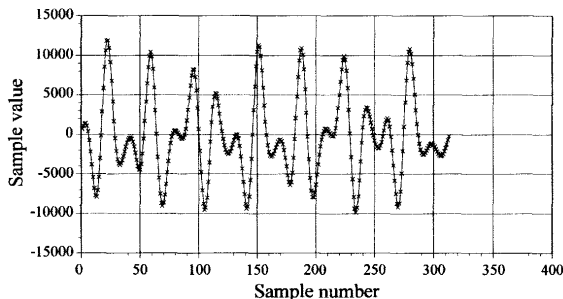


Fig. 6 Phase template pattern of CH-A of NOAA-APT.

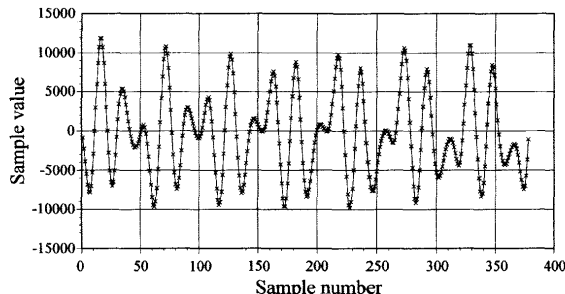


Fig. 7 Phase template pattern of CH-B of NOAA-APT.

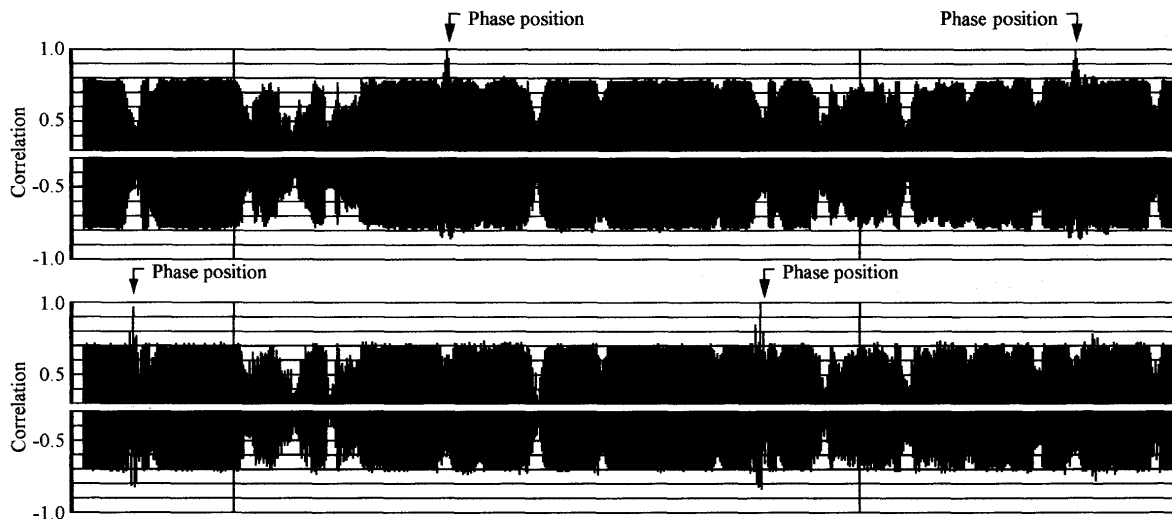


Fig. 8 Results of NOAA-APT phase detection by using correlation method. CH-A(top), CH-B(bottom)

3. NOAA-APTの測定

図5に例示する8/22/1998, 07:34JSTから約7分間受信したNOAAシリーズ衛星15号機, 南下軌道によるNOAA-APTにより, 計測処理手順を述べる. なお, 同図は走査開始端を明示するため位相同期をずらして表示している. さらに, 衛星軌道計算に基づいて経緯度線および海岸線挿入処理を施している.

3-1. NOAA-APT送出データフォーマット

図5において, 左から順に(1)CH-B画像データ, (2)CH-Bテレメータ, さらに(3)CH-A位相同期パターン, (4)CH-A宇宙観測データおよび分タイムマーカ, (5)CH-A画像データ, (6)CH-Aテレメータ, さらに(7)CH-B位相同期パターン, (8)CH-B宇宙観測データおよび分タイムマーカ, (1)CH-B画像データが配置されている. 同図中に(3)と, (4)の分タイムマーカ, および(7)と, (8)の分タイムマーカの部分を拡大して表示している. 分タイムマーカは, 2走査線ほど最低レベル(黒), 2走

査線ほど最大レベル(白)が送出されて, 他の宇宙観測データと区別される.

3-2. 相関法による位相信号の検出

NOAA-APTデータは時系列データとして送出されるため, 走査開始端にある位相同期パターンを検出して, 走査線の切り分けをする必要がある. テンプレートとしてデータ中より任意に抽出した位相同期パターンを図6(CH-A), 図7(CH-B)に示す. これとNOAA-APTデータとの相関を求め, 相関が極大なるものを各走査の開始端と決定する相関法による位相検出法を試みた.

すなわち, テンプレートを $T_T(n)$, NOAA-APTデータを $D_T(n)$ とすると, 相関係数は,

$$r(k) = \frac{\sum_{n=1}^{N_{PT}} P_T(n) D_T(n+k) - N_{PT} \bar{P}_T \bar{D}_T}{\sqrt{\sum_{n=1}^{N_{PT}} \{P_T(n)\}^2 - N_{PT} \{\bar{P}_T\}^2} \sqrt{\sum_{n=1}^{N_{PT}} \{D_T(n+k)\}^2 - N_{PT} \{\bar{D}_T\}^2}} \dots\dots\dots (1)$$

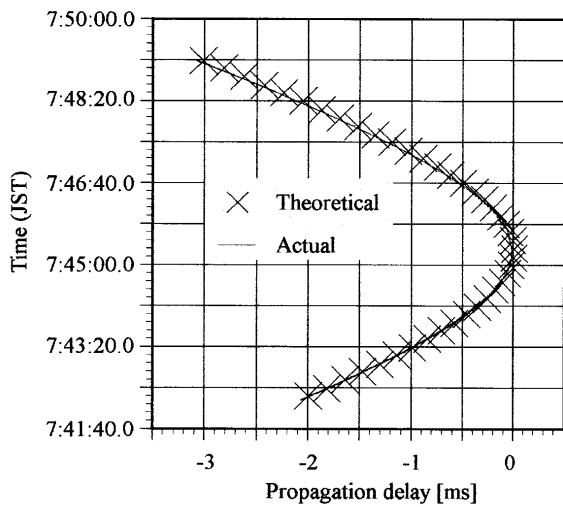


Fig. 9 Doppler time delay. NOAA-15, revolution number 1426, from 8/22/1998, 07:34JST

で算出される。ここに、

$$P_T = \frac{1}{N_{P_T}} \sum_{n=1}^{N_{P_T}} P_r(n), \quad D_T = \frac{1}{N_{P_T}} \sum_{n=1}^{N_{P_T}} D_r(n) \quad \dots\dots\dots (2)$$

さらに、 n はテンプレートおよびNOAA-APTデータのそれぞれサンプル番号であり、CH-A(図6)の場合 $N_{P_T} = 313$, CH-B(図7)の場合 $N_{P_T} = 378$ である。また $k = 0 \sim 1.83 \times 10^7$ である。 $r(k)$ を図8に示す。例示の場合、1677個所中99.7%の位相が正しく検出できた。

3-3. 伝搬時間遅延

図6より検出された走査開始端の時刻は、図9に示すようにドップラ時間遅延を含む。同図は衛星の最接近時(07:45:20JST, 対衛星間距離, 約1011km, 電波伝搬時間, 3.37ms)に対する時間遅延量を示している。同図より時間遅延量は数msであり、さらにこの値は衛星軌道計算から求めた結果と一致し、タイムマーカの時刻精度に与える影響は無視できることが明らかになった。

3-4. NOAA-APTの分標識信号の時刻精度

図5に示すNOAAシリーズ衛星15号機の軌道番号1426, 南下軌道におけるNOAA-APTを、8/22/1998, 07:35JSTから受信したものの分タイムマーカの時刻を調査した。分タイムマーカは250ms周期の8個のバーストトーンで構成されている。よって、第5回目のバーストトーンの開始端を代表時刻とする。バーストトーンの開

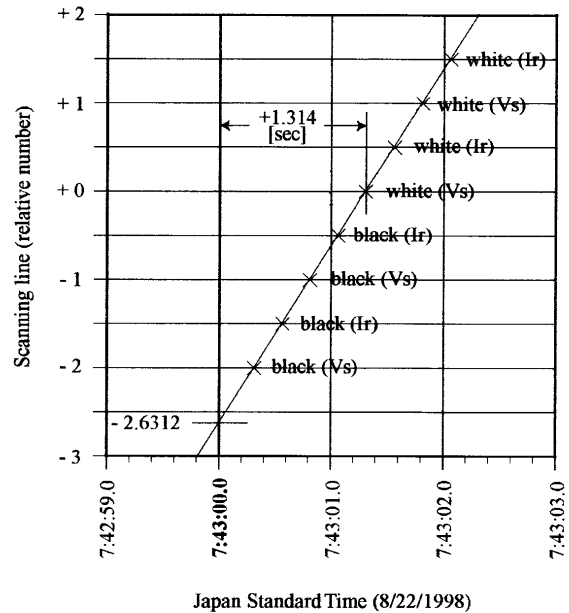


Fig. 10 Time (JST) of leading edge of eight minutes time makers.

始端の時刻を調査した結果の一部を図10に示している。同図において測定結果の回帰直線から7:43:00.0JSTにおける走査線番号を推定すると、2.63ライン遅れており、時間で1.314秒ほど遅れていることが明らかになった。計時の結果を表1にまとめている。これより、JSTと比較して平均+1.3140秒、標準偏差0.0011秒の遅れがあることが認められた。ばらつきはドップラ時間遅延によるものであり、本研究では無視可能な値である。

4. むすび

NOAA-APTデータには分を示すタイムマーカは挿入されているが、その時刻精度を調査した報告はなく、タイムマーカの活用例も報告されていない。

このような観点から、NOAA-APTデータの分タイムマーカの時刻精度を、JSTと比較調査した。

1) 先ず、オーディオサンプリングシステムのサンプリング周期、左右チャンネルのサンプリングの同時性など時間軸に関する精度を保証するための調査を行った。

2) 次に時刻の標準に採用したNTTによる報時サービスの時刻精度をJJYによるものと比較することによって検証し、調査時点において数十ms程度の時刻のずれが存在することを示した。よって、本論文において時刻の精度自体に関与するものは、この程度の精度である。

3) さらに、データ中より任意に抽出した位相信号パターンをテンプレートとして、NOAA-APTデータとの相関を求め、相関が極大なるものを各走査の開始端と決定する相関法による位相検出法を試み、99.7%の位相が

Table 1 Time (JST) of minutes time marker of NOAA-APT. NOAA-15, revolution number 1426, from 8/22/1998, 07:34JST.

Minutes marker (JST)	Actual time [hh:mm:ss.ssss JST]
8/22/1998, 07:43	07 : 43 : 01.3138
8/22/1998, 07:44	07 : 44 : 01.3132
8/22/1998, 07:45	07 : 45 : 01.3127
8/22/1998, 07:46	07 : 46 : 01.3136
8/22/1998, 07:47	07 : 47 : 01.3138
8/22/1998, 07:48	07 : 48 : 01.3149
8/22/1998, 07:49	07 : 49 : 01.3160
Average	+01.3140
Standard deviation	00.0011

正しく検出できた。検出された走査開始端の時刻はドップラ時間遅延を含むが、その値は数msであり、この値は衛星軌道計算から求めた結果と一致し、タイムマーカの時刻精度に与える影響は無視できることを明らかにした。

4) 最後に、分タイムマーカの送出時刻を計時した結果をJSTと比較して、約+1.3140秒の遅れがあることを明らかにし、NOAA-APTデータのナビゲーション処理におけるミスレジストレーション補正の自動化などの方策を考える場合の基礎的資料を得た。

参考文献

- 1) 藤本, 三池: 低分解能赤外衛星画像(NOAA APT)のオンライン温度変換と精度評価, 電子情報通信学会論文誌, **J79-B-II**, 11, pp.933-940 (1996.11)
- 2) 藤本, 田中: 気象衛星画像のグリidding処理, 第36回電気四学会中国支部連合大会講演論文集, 082111, (1985.10)
- 3) 藤本, 田中: 極軌道衛星「NOAA」画像のグリidding処理, 宇部工業高等専門学校研究報告, **33**, pp.7-18, (1987.3)
- 4) 藤本, 田中: 気象衛星ノア画像の弓状ひずみの補正, 第40回電気関係学会中国支部連合大会講演論文集, 102314, p.198, (1989.10)
- 5) Schwalb, A.: The TIROS-N/NOAA A-G Satellite Series, NOAA Technical Memorandum, NESS-95, NESDIS, NOAA, (1978.3).
- 6) Kidwell, K., *et.al*: NOAA KLM Users' Guide, Section 4.2, URL:<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/html/c4/sec4-2.htm> (as of 1998.8), NESDIS, NOAA, (1998.8).
- 7) 電気通信技術審議会答申: 標準電波の高度利用のための技術的諸方策, URL:<http://www.mpt.go.jp/pressrelease/japanese/new/980421j601.html> (as of 1998.8), 郵政省電気通信局, (1998.4)