オメガ信号の cycle jump — II.

田 口 一 夫*

Cycle Jumps of the OMEGA Signals Observed in Japan

Kazuo TAGUCHI

Abstract

The characteristics of the cycle jump (rapid phase change in one cycle unit) in the OMEGA signals were studied with the three years observations in Japan during the years from 1975 to 1977.

Statistical results of OMEGA signal gave the many useful informations to improve the navigational accuracy. These studies will be revealed as follows :

- 1) According to the general features of every signals, cycle advance occurred in both sunset transition and nighttime, and cycle slip in sunrise only.
- 2) Occurrence number of cycle jump of OMEGA Hawaii slightly increased in accordance with the receiving site moves to westward in Japan. For example, occurrence percentage in the year was 1% in Tokyo and 6% at Hiroshima. To the contrary, the results obtained in the southern district were highly notified as compared with ones in the northern district above mentioned, that is 22% at Kagoshima and 33% at Okinawa. Consequently, the 10.2kHz OMEGA Hawaii in Japan should be confirmed for usable range in magnetic latitude 25° , geographic 35° .
- 3) No cycle jumps in both 10.2kHz and 13.6kHz at night during April to October through the observations. Moreover, in 10.2kHz, cycle jump in the transit time showed the annual change.
- 4) The signal of OMEGA Norway and North Dakota propagated through the high latitudes do not showed any jumps in Japan except Kagoshima.

1. はじめに

先に筆者は、オメガ信号にみられる1サイクル整数倍の位相急変を cycle jump とよび、進相を advance, 遅相を retard と定義した⁽³⁾。従来これらの現象に対する表現があいまいなために、その理解が困難であったのがその理由である。cycle jump が発生すると、オメガ位置の線は少なくとも8海里以上の偏差が生じるので、本システムの信頼性を低下させる重大な問題である。

本報—Iでは、わが国近海においてこの現象が多く発生するハワイ局信号について、東京と鹿児島島の2年間の資料を基礎に述べた⁽³⁾。周波数の違い、すなわち 10.2kHz と 13.6kHz にみられる発生パタンの時間帯と、年変化は際立って異なっている。また、ジャンプの発生海域は、日本、北米間、旧南洋諸島方面の航海により、概略を知ることができた。ジャンプの発生回数は、送信局よりの距離よりも、むしろ方向に依存することを明らかにした。本現象は、日出没過渡期にみられる高次モードの干渉によるとされていた^(2, 7, 19, 21)。筆者は、わが国の測定データから、ジャンプが夜間にも発生することを見出した。夜間におけるジャンプは、長通路伝搬波が短通路伝搬波と干渉した結果が主原因と考えた。さらに、これらを実験値より立証することを提案したが、明確な解答をうることはできなかった。

本報では、前報の測定を確定化するのに測点を増加し、さらに測定期間を延長した。また、わが国で得られる他のオメガ信号群についても考察した。これら信号の位相はすべて Rb または Cs 標準により安定化した。

* 正会員、鹿児島大学水産学部（鹿児島市下荒田4-50-20）

導波管伝搬をする VLF 信号は、電離層反射高さの変化により、遠距離にある受信点では、その信号の位相に日周変化が生じる。

VLF 追尾用受信器では、これらの位相を追尾するが、この場合の信号とはアンテナに誘起した合成電界であり、通常は1次モードである。この時、他モードが優勢になり、受信中のモードとの合成ベクトルが急変すると、追尾系に1サイクル・ジャンプが現われる。

従来 VLF 帯におけるサイクル・ジャンプは、日出没過渡期において、1次モードから(へ)高次モードの変換があり、その干渉によって生ずるとされていた。また、これら過渡期の干渉では、電界強度の急激な落ち込みを伴うのが通例である。さらに日出線が磁気赤道を通過する場合には、ことに激しいとしている^(14, 15, 16)。

ところが、わが国近傍で得たオメガ記録からみると、サイクル・ジャンプの特性は上述のものと著しい違いがある。すなわち、上述の論文にあるサイクル・ジャンプはすべて i) 周波数が 16kHz 以上 ii) ほとんどが日出時に多く発生し、日没時のそれは極めて少ない iii) 伝搬方向が南北に近いか東むきなどをあげている。

2. 測定方法および測定結果

2. 1 測定方法

測定は通常の航海用オメガ受信器を用い、前回と同様に、位相および相対電界強度を打点式記録器に記録させた。位相はいずれも Rb または Cs 原子周波数標準に対するものである。測定期間は測点により異なるが、最短でも1年間またはそれに近いものである。鹿児島における測定周波数は、10.2kHz, 13.6kHz および 11.3kHz であるが、他点では原則として 10.2 kHz を対象にした。わが国近海で使用するオメガ局の中で、ジャンプの発生しやすいノルウェー(A)、ハワイ(C)、ノース・ダコタ(D)を主たる測定対象に選んだ。測点は水沢、豊川、広島と鹿児島である(図1)。

これら関係の測定および伝搬パラメータなどの参考データを表1に示す。

Fig. 1 Receiving sites in Japan and the direction of the transmitter.

Table 1 Measurement data of OMEGA signals, 10.2kHz.

Receiving site	Geographic		Magnetic lat(N)	Dist from (nm)			Cycle jump			Measurement period
	lat(N)	long(E)		A	C	D*4	A	C	D	
Mizusawa	39.1°N	141.1°	28°	*1	3273	4761	—	yes	yes	from Nov 1977
Inubo	35.7°N	140.8°	25°	—	3291	—	—	yes	—	1972*2
Mitaka	35.7°N	139.6°	25°	—	3353	—	—	yes	—	1975, 1976*3
Toyokawa	34.8°N	137.4°	24°	4212	3464	5072	no	yes	—	from Feb 1977
Hiroshima	34.2°N	132.9°	24°	4165	3688	5227	—	yes	—	from Jun 1977
Kagoshima	31.6°N	130.6°	21°	4270	3829	5427	yes	yes	yes	1975-1977
Okinawa	26.2°N	127.7°	15°	4511	4041	—	no	yes	—	1977
Nauru	0.3°S	166.8°	7°S	—	3310	—	—	no	—	{ 27 Nov-15 Dec 1975 cruise Aug, Oct 1975 cruise
Guam	13.4°N	144.6°	4°	—	2449	—	—	yes	—	
Alaska	56.4°N	132.4°	59°	—	2386	—	—	no	—	

*1 blank column means no observation

*2 13.6kHz, occurrence frequency, 11%, after Nagai (1974)

*3 occurrence frequency, 1% and 0.5% respectively

*4 A : Norway, C : Hawaii, D : North Dakota

2. 2 測定結果の特長

測点（水沢，東京，犬吠，豊川，広島，鹿児島，那覇）において得た記録から，ジャンプの特長を要約すると次のようである（図2）。

Fig. 2 Annual change of cycle jump of OMEGA Hawaii observed at Kagoshima, 10.2 kHz.

1) ジャンプの特性は，ほとんどが日出時はスリップ，日没時と夜間はアドバンスである

2) ハワイ局—鹿児島

(2-1) 10.2kHz ジャンプ・パタンの年変化の中，夜間の発生時期は3年とも一致し，4—9月には無発生である。過渡期のそれらは1975—夏，1976—秋，1977—冬，春と移っている。

(2-2) 13.6kHz 3年間を通して全く同一パターンが得られた。スリップは日出線が，ハワイ—鹿児島の中点附近にある時に発生し，季節的には11月下旬—3月と5—7月に多い。日没期のアドバンスは6—8月であり，この規則性が確立したようである。

(2-3) 位相日変化パタンの夜間は台形をなすのが通例であるが，一般に深夜過ぎ（UT 12時以後）に，異常パターン（台形異常）を示す。これらは発生時間帯からみてジャンプへ発達するものとしてよい。

(2-4) 電界強度の落ち込みと，ジャンプとの相関はみられるが，相互間の可逆性は必ずしもない。強度の時間微分値が大きい要因とは考えられる。強度が15dB 以下になると発生率が高い。

3) ハワイ局ジャンプ発生の地理的变化

10.2kHz 信号の発生日数（1977年）を，測点ごとに発生率（%）で表わすと，東京（1976—1%），名古屋（4%），広島（6%），鹿児島（22%），沖縄（33%）である。比較した測定時間は必ずしも適当ではないが，ジャンプの発生は東京から西方において増加していることを明確に示した。また，磁気緯度25°のグループ（東京，名古屋，広島）と，それ以南の鹿児島，沖縄のグループでは発生率に大きい違いがあった。鹿児島と上記北方グループのハワイからの距離差は140—500 哩であり，沖縄とは180 哩である。

4) ノルウェーとノース・ダコタ局のジャンプ

10.2kHz におけるジャンプは，鹿児島にのみみられた。また，13.6kHz は鹿児島と水沢でのみ測定しているが，鹿児島では無発生である。水沢ではノース・ダコタ局を1978年2月—5月に受信したが，それぞれの月の発生率は，3%，6%，6%，0%であった。

以上の結果，本報ではハワイ局の i) ジャンプ発生パタンの季節変化，ii) 地理的变化および iii) 高緯度伝搬のノルウェーとノース・ダコタ局のジャンプ特性について考察する。

3. 解 析

3. 1 サイクル・ジャンプの特性

サイクル・ジャンプは，日没期にスリップとなり，日出期と夜間はアドバンスとなる。これら過渡期には，伝搬モードの変換が一部のモードで行なわれ，日没時は1次モードより高次へと，日出時はこの逆の過程をとるとされている⁽⁹⁾。この時の位相の日周変化は，1次モードでは1ラジアンであり，2次モードでは2ラジアンとな

る。両者の合成された位相変化量は、両モードの振幅と位相のベクトル和によってきまる。1 次モードが優勢ならば、他のモードはこれに従い、ジャンプは生じないが、2 次モードが優勢ならば、1 次モードもこれに従い、位相の急変がある。

すなわち過渡期にあつては、高次モードと1 次モードの共存と、変換の過程を通じ、位相が急変してアドバンスとスリップが明確に生じる。しかし、あるモードが安定して発達し、反覆性を有するための最大の要素は電離層高さである。従つて、10.2kHz と 13.6kHz とで発生率が異なるのは、波長との関係から当然であるが、高次モードの発達条件は、さらに多くの要因を考慮すべきである。

3. 1. 1 ジャンプ発生時間帯

(1) 13.6kHz (図 3)

Fig. 3 Annual change of cycle jump of OMEGA Hawaii observed at Kagoshima, 13.6 kHz.

13.6kHz におけるジャンプ発生時間帯は、通路の中心に日没線がある時に集中しているが、ミクロ的にみると時間的な遅速が認められる、この原因として考えられるのは i) 通路と日没線の交角 ii) 電子密度である。

夏期には、日没期のジャンプは両者とも中心よりハワイに近い側で生じている。交角の大きさは、日出時と日没時で互いに逆であるから、図示のようにこのパターンを交角による効果に起因すると考えるのは適当でない。従つて、ここでは季節変化、すなわち太陽赤緯が北半球にあるので、太陽照射の効果が大きく、電子密度が増加した影響と考えるべきである。

冬期の日出時では、上述の交角が大きくなるから、通路長に対する過渡時間は短くなる。とはいえ、電子生成速度は変化がそれに伴わないことにより、発生時間帯に遅れがあると言える⁽¹⁰⁾。このように過渡期の発生パターンは、3年間のデータがほとんど一致していることから、上述の討論に到達せざるを得ない。

日没期にジャンプが生じないのは、この期の電子密度の減少は緩やかであり⁽¹⁰⁾、モード変換もこれに比例したためといえよう。夏期には上述の理由で、一般的な電子密度の増加が影響したと考えられる。

(2) 10.2kHz (図 2)

過渡期のジャンプ発生時間帯は複雑である。すなわち、受信点の日出時の直前と、送信点の日没時の直後に集中する。さらに中心附近にグループ化して発生する。これら、直前・直後の発生時間帯は、電離層の特性の変化し始める時期であり、ジャンプ発生の要因を示唆すると思われる。しかも年により発生季節が変わっているのが大きい特長である。

このような発生パターンからみて、ジャンプは過渡期縁辺部と中央部の2つのグループがあると考えるのが至当であろう。中央部の発生原因は通常モード干渉と考えるが、縁辺部のジャンプを同様に考えるのは難しい。ことに1976年のように昼間の発生では、通常モード干渉によるとは全く考えられない。換言すれば、本報—Iで指摘したように、長短通路伝搬の電界強度において、長通路のそれが短通路より優勢となり⁽²⁰⁾、いわゆる長通路伝搬の干渉を考える。名古屋、沖縄の発生パターン(図4)と比較すると、名古屋のジャンプは、過渡期にはほとんど現われないが、それは地磁気緯度効果が弱く、長通路信号の干渉が現われなかったと考えられる。また

沖縄では日没時にジャンプがなく、日出時の1時間前以内にジャンプは集中している。さらに冬期の日中に現われるのは、低磁気緯度帯の昼間伝搬の効果が強化されたことによるといえる。

Fig. 4 Cycle jump distribution pattern, time vs. month, 10.2kHz, 1977.

Toyo : Toyokawa/Nagoya, Naha : Okinawa, Kago : Kagoshima.

過渡期のジャンプは年変化をしているが (図2); 1977年の豊川、沖縄と鹿児島のパターンは酷似している。さらにノルウェーとノース・ダコタのパターンでも同様であるから (図5), 鹿児島のパターンは全般的な傾向を示すものとしてよい。送受信点にそれぞれの特性があって、パターンが決まったものではなく、伝搬路全体に対する要因、すなわち電離層導波管伝搬に及ぼすマクロな要因を考えるべきである。

Fig. 5 Cycle jump distribution patterns of three different transmitters observed at Kagoshima, 10.2kHz, 1977.

この一つとしての磁気効果では、ハワイ局が中緯度伝搬であることから、Dst を主として考察したが、その効果を見出せない。よりマクロな要因としての太陽黒点周期は、1976.2に第20周期が終り、以来第21周期となって黒点の増加が始まった。全体のジャンプ回数の年変化は、1976年が1975、1977年よりは多いものの、季節変化の説明はできない。しかしながら、こうした伝搬環境の変化は、時間的反応の遅れも考慮すべきであるから、3年間のデータで論ずるのは無理であるかもしれない。従って、この原因の解明はさらにデータを多く必要とするので、今後の問題としたい。

(3) 夜間のジャンプ

夜間のジャンプは、10月から4月までに集中しているから、必然的に太陽赤緯の季節変化の影響を考えざるを得ない。この相関関係は Lynn⁽¹⁵⁾, Gerard⁽¹¹⁾ が示している。本報の資料も南半球のジャンプの季節変化と著しく似ている。勿論、Lynn らの研究と本報では、周波数をはじめとする伝搬パラメータに大きい違いがあるが、VLF 帯における発生パターンを知る上では、極めて大きい特長であるといえる。

10.2kHz の発生回数では、過渡期と夜間のそれらはほぼ同数である。13.6kHz にも少数ながら夜間に発生している。サイクル・ジャンプの発生に関する発表では、既述のように過渡期における不安定な高次モードの存在を主原因と述べている。本報-I では、長短通路伝搬信号の相互干渉が、夜間の発生原因の一つであるとした。今回は1977年における名古屋・沖縄の資料を加え、さらに広島の実測を参考にしたが、全測点の夜間の発生季節はいずれも10月から3月までである。また 13.6kHz も同様であった。この場合でも、発生回数は豊川、広島、鹿児島、沖縄の順で多くなっている。

10～4月の太陽は南緯にあることから、夜間電離層の高さを含め、導波管構造が高次モードの発達に適したとしたい。換言すれば、冬期の太陽照射は夏期に比較して少なく、夜間電離層でも一般には電子密度が減少すると考えることのできる資料がある⁽⁴⁾。ひいては電離層高さの増加となり、その高さが 10.2kHz における高次モード変換に好適と解釈される。ところが一方、反射高さの増加は、13.6kHz には不適な構造となって、夜間における発生が激減したといえる。あるいは、長通路における昼間・夜間域の位置、すなわち日出線と通路との交角と、磁気赤道と交わる附近におけるモード変換効果の強化^(13,15,17) も考えられる。しかし、現在では結論を得るには到らない。

3. 2 ジャンプ発生回数の地理的变化

東京・豊川・広島（北方グループ）のように、磁気緯度 25° 帯にある測点群の 10.2kHz のジャンプ発生率は、多少の違いはあっても年間 1～6% である。これに対し、鹿児島・沖縄（南方グループ）では 22%, 33% となる。この結果から、C局信号の信頼性は鹿児島より以南では著しく失われている。たとえ発生時期が夜間のみであっても、オメガ航法システムの運用上の性格から、これらの海域でのC局信号は不適である。伝搬条件を比べると（図1、表1）鹿児島と広島では磁気緯度で 3°、距離（C局への）では141哩の違いしかなく、広く見れば変わりがあるとも思えない。各測点からハワイ局への方位は、東京の 85° から鹿児島の 80°、沖縄の 76° であり、最大 9° の違いである。豊川、広島での発生時期は、夜間のみであるのに対し、鹿児島は過渡期まで含んでいる。

両グループの最大の違いは、記録上の位相変動幅であり、鹿児島は広島より 3～4 倍大きい。これを支配するのは信号対雑音比であるが、CCIR⁽⁹⁾による予測では鹿児島は広島より 2～3 dB 高い。信号レベルが高く、S/N 比が良好であってもジャンプは発生するが、強度が低い場合の有力な刺激要素であることも否定できない。

VLF 伝搬を考えると、上述の伝搬パラメータはいずれも小さい値のように思うが、測定結果の解析では予想外に重要なかもしれない。今後の研究には、この点を反映させてゆく積りである。沖縄と鹿児島の違いは、発生頻度以外にあげると、1977年のみの測定しかないが、沖縄の日没過渡期には無発生である。とすると、鹿児島の特性としてあげられる両過渡期の発生こそ問題とすべきである。

以上の結果より、北方グループと鹿児島の発生頻度の違いの原因は、地磁気緯度によるとしか考えられない。従って、今後は磁気緯度のジャンプ発生への寄与と、その限界についての研究に向うことにする。

3. 3 高緯度帯伝搬のA, D局

ノルウェー(A)局、ノース・ダコタ(D)局の伝搬通路は、高緯度帯伝搬であり、頂点の補正地磁気緯度はそれぞれ 68°, 67° である（図6）。しかもA局の通路は、大部分がシベリア大陸を通過する点に大きい特長がある。両通路ともほぼ南北で、距離はそれぞれ4270哩と5427哩となり、しかも高緯度帯であるから、日出没期が交互に現われる。完全な昼・夜期が短い。よって、送受信点に日出没があっても、通路の高緯度域では夏の白夜、冬の常夜が現われ、非常に複雑な電離層変化になる。また、ある季節では電離層高さの変化がなく、モード変換が生じ難く、ジャンプの発生も無いと考えられるのである。高緯度帯を伝搬する VLF は、2次モードが約4000哩伝搬したと記せられているが⁽⁶⁾、ここでは伝搬方向に対する地磁気効果が減少するので、わが国で受信する場合にも2次モードは当然考慮すべきことといえる。それよりも、ジャンプの発生はモード干渉によると考えざるを得ないのである。さらに、減衰率の少ない南北通路ならば、C局で考慮した長通路の可能性はより大きくなって来る。

Fig. 6 Propagation paths to Japan from the three OMEGA transmitters. A: OMEGA Norway, C: OMEGA Hawaii, D: OMEGA North Dakota. Receiving site-K: Kagoshima, O: Okinawa.

高緯度帯の伝搬に影響する要素は磁気現象であり、VLF エミッション、磁気嵐、PCA などが生起するとされている⁽¹⁾。これらに与える活動の根源は太陽であり、既述のように1976年が最少黒点数であった。さらに1977.9と1977.11には1960年以降最大の太陽爆発があって、PCA が報告された⁽¹³⁾ A、D局のジャンプ発生の記録から問題なのは、i) 鹿児島測点の10.2kHzにのみ発生した。ii) 13.6kHzは鹿児島と水沢で測定しているが、水沢では短期間ながらも発生した。iii) 鹿児島とほぼ等しい伝搬条件である沖縄の電界強度、位相の変動幅はほとんど同一である。

そこで次のような考察が導かれる。

鹿児島の13.6kHzに無発生なのは興味がある。これまでの考察からも明らかなように、ジャンプの可能性がモード干渉と長通路伝搬の両面から考えられるのに、なんらの効果がないからである。モード変換率は磁気緯度に反比例するし⁽¹²⁾、それに対する周波数の違いもまた当然といえる。13.6kHzが高緯度帯通過の場合、1次モードがより優勢であるために、ジャンプ発生がないと考えられる。水沢のジャンプ発生例は、資料が少なく充分な考察は困難である。

鹿児島と沖縄の違いは、現在全く説明できない。このことから、伝搬条件が近似していると考えるのは問題があるかもしれない。ただ、Lynnによると⁽¹⁵⁾、NPG/NLK（ワシントン州、米国）をオーストラリアで測定した時、日出時における電界強度の落ち込み間隔の中間に位置する地点では、ジャンプの無発生を論じている。しかし、測定が同時に行なわれずに、測定期間が数年にわたるため、本報の指摘するような年変化の影響は考えていないようなので、この結果を鹿児島と沖縄の例に拡張するのは無理がある。

高緯度に現われる、磁気擾乱効果のジャンプ発生への影響については、地磁気定数 (K_p , A_p , Kn)⁽¹⁸⁾とマグネトグラムの面から考察した。これらと1日ごとの相関は、なんら認めることはできなかった。図7では、 K_p sum の大勢を表わすのに月平均（算術）を求め、鹿児島10.2kHz信号のジャンプ発生回数と共にプロットした。

この図より、 K_p sum の値とジャンプ発生回数との間に、ある程度の相関を認めることはできた。一般にジャンプの発生には、安定した電離層の存在があり、ひいては高次モードの発達を促すことが前提とされる。地磁気定数の個々について考察した場合は、ミクロな観点に立ち勝ちなために、全般的な傾向を見失ったと思われる。磁気嵐（PCAも含め）との関係が全く見出せなかったのは、安定な高次モードが発達し得ないからである。

4. ま と め

本報では、前報—Iについて鹿児島の3年間のデータと、他測点のそれらに基き、わが国におけるサイクル・ジャンプの特性をより明確化できた。しかしながら、その解析については現在のところ模索中といわざるを得ないほど困難である。結局、長期間の測定と多くの測点により、この現象を統計的に追求するしかない。航法上の観点に立てば、“信頼性の劣る局は使用しない”という表現をとりたい。

以下に今回のまとめを要約する。

- 1) サイクル・ジャンプは日出期にスリップ、日没期と夜間はアドバンスである。1次モードと高次モードの日周変化のベクトル値により、ジャンプの極性は支配されることが説明できる。
- 2) ハワイ局の10.2kHzの夜間発生パターンは、3年間とも同一（10～3月）であるが、過渡期のパターンは毎年変ってゆく。しかし、パターンの変化は、各測点および各局のパターンと一致するから、電離層の構造の年変化といえる。

Fig. 7 Relationship between the cycle jump of OMEGA (Norway and North Dakota) and daily K_p sum mean. Daily K_p sum mean: arithmetical mean of accumulated daily K_p sum during each month.

- 3) ハワイ局の 13.6kHz のジャンプ (スリップ) は日出期に集中し、夜間は毎年 0.1% 位である。
- 4) 磁気緯度 25° 附近にある測点群におけるジャンプは、西に向うほど増加するが、年間で 1~6% である。これに対して、鹿児島、沖縄の発生率は 22%, 33% であって、鹿児島附近より南におけるハワイ局信号は使用不能である。
- 5) 高緯度を伝搬するノルウェー、ノース・ダコタ局 10.2kHz は、鹿児島でのみジャンプが発生した。

謝 辞

本実験は多くの方々の支援と協力によって、はじめて実施できたものであり、深く感謝したい。次の方々の協力を特記したい。

機器の保守—安立電気 (株) 吉村裕光氏、沖縄における測定—琉球大学理工学部、平良賢剛氏、豊川における測定—名古屋大学空電研究所 佐尾和夫教授ほか一同、広島における測定—広島商船高専 佐藤尚登氏、水沢における測定—緯度観測所 原忠徳氏ほか一同。

参 考 文 献

- 1 石井隆広雄ほか：VLF 電波の極域擾乱(II)，電波研季報 22, 118, 99—121, Jun 1976.
- 2 桜沢 晃，石井隆広雄：VLF 遠距離伝搬波の位相日変化，電波研季報，10, 38, 10—15, Jan 1964.
- 3 田口一夫，木村小一：オメガ信号の cycle jump，本論文集，54, 47—55, May 1977.
- 4 田口一夫：航行用 100kHz 電波帯の伝搬特性の解析とそれらによる船位精度の改善—VI，ロランC—V，本論文集，46, 17—24, Oct 1971.
- 5 永井清二，大谷 晃，朝倉敏彦：犬吠におけるオメガ航法電波の位相測定，電波研季報，20, 107, 99—107, Mar 1974.
- 6 Bates, H. F. and Albee, P. R. : General VLF phase variations observed at College, Alaska, JGR, 70, 9, 2187—2208, May 1, 1965.
- 7 Burt, G. J. : Observations on phase stability of signals from NBA (18kc/s) Panama as received in New Zealand, Proc. IEE, 110, 1922—1932, Nov 1963.
- 8 CCIR : World distribution and characteristics of atmosphere radio noise, CCIR report 322, 78p, 1963.
- 9 Crombie, D. D. : Periodic fading of VLF signals received over long paths during sunrise and sunset, Radio Sci. J. Res. NBS, 68D, 1, 27—34, Jan 1964.
- 10 Deeks, D. G. : D-region electron distributions in middle latitudes deduced from the reflexion of long waves, Proc. Royal Soc. London, A 291, 413—437, 1966.
- 11 Gerard, V. B. : Anomalous phase variations of GBR as received in New Zealand, JATP, 28, 425—428, 1966.
- 12 Kaiser, A. B. : Latitude variation in VLF modal interference, Radio Sci., 3 (New), 11, 1084—1090, Nov 1968.
- 13 Kaiser, A. B. : An explanation of VLF diurnal phase change observations, Radio Sci., 4 (New) 1, 17—21, Nov 1969.
- 14 Lynn, K. J. W. : Anomalous sunrise effects observed on a long transequatorial VLF propagation path, Radio Sci., 2 (New), 521—530, Jun 1967.
- 15 Lynn, K. J. W. : Multisite observations of the VLF transequatorial propagation anomaly, Radio Sci., 4 (New), 203—212, Mar 1969.
- 16 Lynn, K. J. W. : Frequency dependence of VLF modal interference effects observed on east-west propagation paths, JATP, 33, 951—958, 1971.
- 17 Lynn, K. J. W. : VLF mode conversion observed at middle latitudes, JATP, 35 439—452, 1973.
- 18 NOAA : Solar geophysical data (SGD), 1975—1977.
- 19 Reder, F., Hargrave, J. and Croughley, J. : Interpretation of VLF phase data, Proc 4th PTTI, 324—344, 14—16 Nov 1972.
- 20 Swanson, E. R. : OMEGA coverage in India : A case study, NELC TR-1974, 46p. 15 Jan 1976.
- 21 Thompson, A. M., Archer, R. W. and Harvey, I. K. : Some observations on VLF standard frequency transmissions as received at Sydney, N. S. W., Proc. IEE, 51, 11, 1487—1493, Nov 1963.