

低緯度地方における IGY 及 IQSY[※]

期間中のホイッスラーについて

(第 1 報)

金	原	淳 [*]
江	口	博之 ^{**}
島	田	信義 ^{***}
栗	本	計起 ^{****}

(電子工学教室)

Characteristics of Whistlers during IGY and IQSY at Low Latitude

A. KIMPARA, H. EGUCHI, N. SHIMADA and K. KURIMOTO

(Electronics Engineering Department)

The authors describe characteristics of whistlers during IGY and IQSY, in particular the frequency of occurrence and the dispersion.

The maximum occurrence was found both in February, while the minimum in June in IGY and in July or August in IQSY. As to the diurnal variation, a definite tendency was not found in general, but in February, the most active month in the two, where we found abundant reliable data, 2 clear maxima were found, i.e. the one at dawn, 1-2 hours before sunrise, and the other in the evening at sunset in IQSY and 2-3 hours after sunset in IGY.

The dispersion at the time of maximum occurrence and at midnight was found respectively 64.6, 58.2, 52.9 $\text{sec}^{1/2}$ in IGY, indicating a decreasing tendency from sunset to sunrise, while in IQSY 43.6, 44.9, 47.5 $\text{sec}^{1/2}$, indicating an increasing tendency, with much smaller values compared with those in IGY. Moreover the minimum value of dispersion in IGY was 20 $\text{sec}^{1/2}$ with very small numbers, while in IQSY 5 $\text{sec}^{1/2}$ was the minimum and there were many 10 $\text{sec}^{1/2}$ or 11-20 $\text{sec}^{1/2}$.

1. 序

ホイッスラー (whistler)¹⁾ は、雷放電から輻射される電波の一種である。地球磁界に沿って、電離層を突抜け、超高層 (magnetosphere) を伝播して後、再び電離層を通して他の半球に到達した時、観測され (short whistler), 或はここで反射して略々同じ伝播路を経て元へ戻った時、観測される電波である (long whistler)。超高層は地球磁界の存在するプラズマであるから、ここを伝播する時

※IGY は International Geophysical Year (国際地球観測年),

IQSY は International Quiet Sun Year (太陽極小期国際観測年) の略

* 中部工業大学電子工学科教授

** 中部工業大学電子工学科助教授

*** 中部工業大学電子工学科講師

**** 中部工業大学電子工学科助手

の分散作用によって、雷放電から出たパルス性の雑音電波は、周波数によって変る群速度を以て進行する。従って観測にかかる時には、時と共に周波数の下る所謂 *gliding tone* を生ずる楽音電波になる、鶯の鳴声の様な快い音を生ずると云っても差支ない。

発見されたのは、遠く第一次欧洲大戦の頃で、Dresden 大学の電子工学で名高い Barkhausen 教授²⁾が、連合軍の有線電話を盗聴するため、大地に平行にアンテナを張って、受信せんとした時観測されたのに始る (1919年)。その後 Burton, Boardman, Eckersley氏等の卓れた観測及理論的研究が行われたが (1928—1933年)、続く約15年間は顧みられずに過ぎた。本邦でも梶井剛氏が長距離電話回線で気付かれたが、これを研究する人もなかった。

1951年 Cambridge 大学の大学院学生 Storey 氏が、再び取上げて研究し、理論並に観測において立派な成果を発表し、超高層の物理研究上重要な旨を明かにした (1953年) ので、世界中の学者が再検討する様になって、今日の盛況を来したのである。地上の観測によって超高層 (magnetosphere) の電子やイオンの分布を知り得る唯一の方法であるのみならず、ロケットや人工衛星上の観測を同時に行えば、超高層の他に電離層の研究にも寄与する処が多く、宇宙通信、宇宙物理等の宇宙開発が問題にされている今日では、頗る重要な研究問題となったのである。

ホイッスラー観測は、磁気緯度 (Geomagnetic latitude) で 55° 前後が最も容易に行われる。本邦では、磁気緯度は地理緯度よりも 10° 位低いが、米国では 10° 位、欧洲では $3-4^\circ$ 高いので、欧米では観測し易く、本邦ではむずかしい。1954年 Hague で行われた国際電波科学連合 (URSI) 総会で、ホイッスラーが発表されたので、本邦でも是非観測するということになり、金原⁶⁾と岩井⁷⁾、大津両氏とが名古屋大学空電研究所 (磁気緯度, 24.5°) で観測を始めた。世界における最低緯度の観測といっているので、欧米学者の注目する処となった。観測装置、場所、人工雑音の除去等色々な点に注意した結果、立派に成功したのみならず、高緯度地方では得られなかった鮮明な特性が出たので、欧米でもこれに倣うものが次第に増加して来た。

近頃は、人工衛星やロケットによる観測が加って来たので、在来主として電子密度分布に主力を置いたのが、更に、イオン⁸⁾によるホイッスラーという新しい分野が開かれ、米国、カナダ、仏国等で盛になって来たが、本邦でも、岩井、大津両氏がロケットによるホイッスラー観測に成功し、人工衛星による観測へ進もうとしている。

表題に掲げた国際地球観測年 (IGY) というのは、地球を中心として電離層や超高層から太陽に至る宇宙空間の物理現象を、世界中が協力して、両極から赤道に至る全領域で、観測して研究せんとする行事である。第1回は1882—1883年、第2回は1932—1933年。この頃は極を中心として研究を行ったので、極年 (Polar Year) と云ったが、第3回は1957—1958年で、地球全般に及ぶ関係上、国際地球観測年 (IGY) と改めた。第2回の極年は太陽活動の極小期に当り、第3回は極大期に当るので、現在の進んだ観測法で、更に極小期をやって見ようといっているので、1964—1965年を太陽極小期国際観測年 (IQSY) として観測することになった。この間、国際地球協力年 (IGC)、後期国際地球協力年 (Post-IGC) 等という名称の下に、世界中が政治を離れて、純粋に科学に協力して観測する行事が、1957年7月から1965年12月迄、連続しているのである。

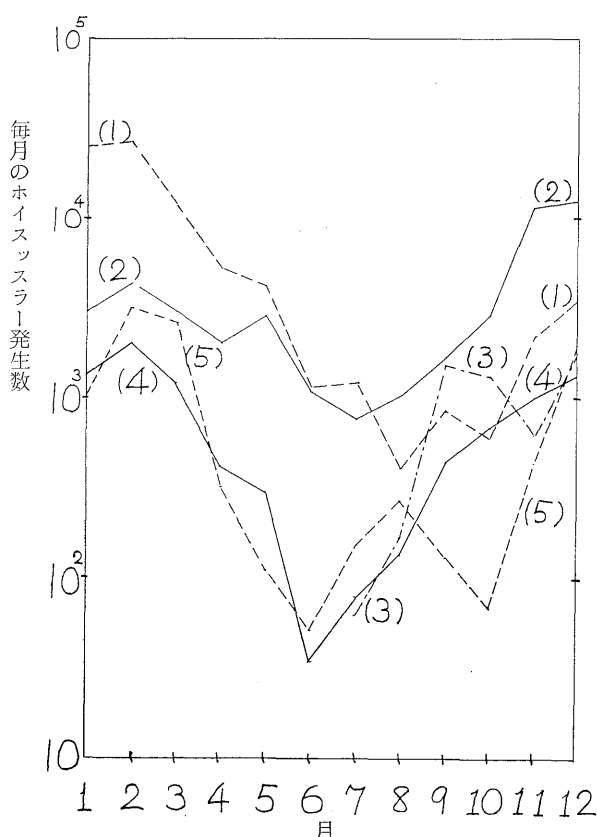
今この期間の観測結果を比較して見ると、漸進的にホイッスラーの特性が変化していることが認められるが、本報告では、特に極大期と極小期の両極端を比較して、差異を明かにし、見易くしようと思う。

2. ホイッスラーの発生頻度

2-1 ホイッスラー発生の季節変化及年変化

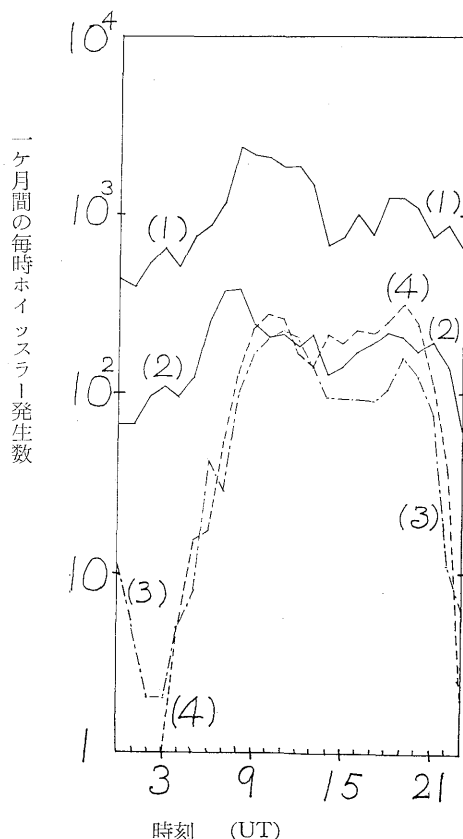
本邦におけるホイッスラー発生の太陽黒点周期に伴う年変化については、金原が⁶⁾発表し、次いで発生極大年の磁気緯度依存性について、大津、岩井、田中三氏の⁷⁾発表がある。本邦の観測中、観測所の立地条件で最も卓れている北海道の分については、IGY と IQSY で観測の場所が変っているので比較が出来ないし、豊川の方は次第に観測が困難になって来たので、黒点周期の年変化についてはこれ以上述べることは止める。

季節変化については、IGY は稚内（地理座標 N 45°24′, E 141°4′; 磁気座標 +35.3°, 206.0°）,



第1図 IGY とIQSY 月別ホイッスラー発生数 (年変化)

- | | |
|-----------|-----------|
| (1) 1964年 | } IQSY |
| (2) 1965年 | |
| (3) 1957年 | } IGY-IGC |
| (4) 1958年 | |
| (5) 1959年 | |



第2図 2月1ヶ月間の毎時2分間のホイッスラー発生総数 (日変化)

- | | |
|-----------|-----------|
| (1) 1964年 | } IQSY |
| (2) 1965年 | |
| (3) 1958年 | } IGY-IGC |
| (4) 1959年 | |

IQSY は母子里（地理座標 N $44^{\circ}22'$, E $142^{\circ}16'$; 磁気座標 $+34.0^{\circ}$, 206.4° ）で観測したものだから、絶対値の比較はし難いが、相対値として比較することは可能である。

第1図に示す様に、IGY, IQSY 共に2月に極大を示しているが、極小の方は、IGYが6月であるのに対し、IQSYでは7月又は8月に極小を示している。1957年は7月1日から観測が始まっているから、極大極小は定め難い。

2-2 ホイッスラー発生の日変化

IGY でも IQSY でも、ホイッスラーが最も頻発するのは2月だから、観測資料の量が多い点で、最も信用しうる2月について比較すると、第2図に示す通りで、IGYにおいては、2つの極大が出る。その一つは、日没（17.11 JST, 8.11 UT 札幌）後1～2時間の19.00-20.00 JST, 10.00-11.00 UT に現れ、他の一つは、日出（6.26 JST, 21.26 UT 札幌）前約2時間半の4.00 JST, 19.00 UT に現れる。処が、IQSYでも、極大は2つ出るが、その一つは略々日没17.00 JST, 8.00 UT に現れ、他の一つは、日出前1～2時間の4.00-5.00 JST, 19.00-20.00 UT に現れる。即ち、日出前の極大は、双方共、略々同じ時刻に現れるが、もう一つの極大は、IGYでは日没後1～2時間に、IQSYは略々日没に現れるのである。

他の月についても調べて見たが、この様に一定の関係は現れず、複雑で握み難いことがわかった。極大の現れ方が、日出前のは一致していても、日没附近のはIQSYとIGYで異り、IGYでは日没後1～2時間の処へ現れるのに、IQSYでは日没と略々一致して現れるのは何故かについては、次の報告で述べる。

3. ホイッスラーの分散

分散の値は、広がりが大きく、甚だ不規則で握みにくいが、ホイッスラーの観測は、D層の減衰のために、夜間の頻度が多いことに着目し、日変化の2つの極大と夜半、即ち、IGYでは、11.00, 15.00, 19.00 UT, IQSYでは、8.00, 15.00, 19.00 UTを選び、各時刻の分散に対し、重みを加えて平均を取り、第1表を得た。

これで見ると、太陽活動の著しさに伴い、分散が増大することは予想されるが、分散の比は、日没附近の極大で、1.48倍、夜半で1.30倍、日出前の極大で1.11倍となる。又分散の著しく小さくなる機会には、IQSYでは、分散 $D=5$ が、1964年3月に、 $D=10$ が、1964年1月、6月、11月、1965年1月、2月、4月、10月、11月、12月に、 $D=11-20$ が1964年1月、2月、3月、4月、5月、6月、10月、11月、12月、1965年1月、2月、3月、4月、5月、6月、10月、11月、12月に認められているのに対し、IGYでは $D=5$, $D=10$ はなく、 $D=20$ は1957年12月に1ヶ、1958年1月に5ヶ、 $D=21-30$ は1957年11月、12月と1958年1月に少し認められるに過ぎない。太陽活動の衰退と共に、分散の減少、即ち超高層及電離層（ F_2 層）の電子密度の著しい減少を認めたのである。

又、分散の日変化を見付けることは、在来頗る困難とされていたが、この統計を見ると、IGYでは日没から日出にかけて減少の傾向があり、IQSYでは、逆に上昇又は不変の傾向が認められる、これ

第1表 IGC 及 IQSY における分散 (秒^{1/2})

IGC					IQSY				
時刻UT		11	15	19	時刻UT		8	15	19
年月					年月				
1957	7	64	68	58	1964	1	30	36	43
	8	57	53	53		2	42	48	49
	9	59	50	45		3	35	53	52
	10	67	63	57		4	53	35	57
	11	74	54	43		5	49	52	65
	12	65	50	42		6	45	45	51
1957	平均	64.3	56.3	49.7		7	37	40	46
1958	1	67	53	57		8	30	—	53
	2	55	52	54		9	50	—	—
	3	68	54	50		10	54	65	52
	4	60	61	53		11	48	40	30
	5	64	66	70		12	32	39	48
	6	—	—	53		平均	42.1	45.3	49.6
	7	70	62	—	1965	1	29	42	46
	8	—	59	53		2	35	43	49
	9	71	64	58		3	40	46	55
	10	68	69	57		4	68	57	49
	11	65	63	63		5	43	48	46
	12	61	57	50		6	46	39	48
1958	平均	64.9	60.0	56.2		7	45	—	40
1957 1958	平均	64.6	58.2	52.9		8	41	38	35
						9	63	53	47
						10	54	46	48
						11	43	43	53
						12	33	34	29
					1965	平均	45.0	44.5	45.4
					1964 1965	平均	43.6	44.9	47.5

ら諸現象は頗る興味のあることであるから、緯度依存性も考えられるが、その原因については、次報で述べる予定である。

ここでは触れなかったが、^{6),9)} ホイッスラーと地磁気活動、¹⁰⁾ 太陽面活動、¹¹⁾ ホイッスラーの到来方向、ホイッスラー伝播路の問題等、今後に期待する処は極めて広大である。

4. 結 論

本文では、IGY と IQSY、即ち、太陽活動の極大と極小両期間におけるホイッスラーの特性の差異を述べた。

発生頻度は、共に2月に極大を示し、極小の方は、IGY では6月なるに対し、IQSY では7—8月になっている。日変化を全年について見ると、一般に、D層の減衰のために、夜間が著しく、昼間が少ないが、発生頻度の極大の2月については、比較的明かな一定の傾向を示している。即ち、共に2

回の極大を示しているが、一つの極大は日出前1—2時間に現れるのに対し、他の極大はIGYでは日没後2—3時間に、IQSYでは日没と略々同じ時刻に現れている。

超高層電離層の電子密度分布に依存するホイッスラーの分散は、ホイッスラー研究上最も大切な事項の一つであるが、その値を観測資料の多い夜間につき、特に発生頻度の極大と夜半について調べて見ると、IGYでは、日没後の極大、夜半、日出前の極大に、夫々、平均、64.6, 58.2, 52.9 sec^{1/2}と次第に下降の傾向を示すのに対し、IQSYでは、数値も大分少く43.6, 44.9, 47.5 sec^{1/2}という様に、上昇の傾向を示している。又分散の最低値も、IGYではD=20 sec^{1/2}が6ケ、D=21—30 sec^{1/2}が数ケなるに対し、IQSYではD=5 sec^{1/2}が1ケ、D=10 sec^{1/2}が数ケ、D=11—20 sec^{1/2}は沢山に認められた。太陽の活動性に依存することの著しい分散の特性を認めた。

5. 謝 辞

本報告は、金原が名古屋大学空電研究所にいた頃得た観測結果を用いて解析したもので、観測に当った空電研究所の人々、特に岩井章教授の応援を深く感謝する。資料の整理は、当研究所の上原敦子、西脇勝子の両氏、図面は、西脇勝子氏の手によるもの、献身的な努力に謝意を表する。

筆者等は、本学において、空電、ホイッスラー、VLF及ELF放射の研究を進展させてゆく考えであるが、これを認めて、力強く激励し、応援して下さいる三浦学長、結城副学長、大西総務部長に深い感謝を献げる。又、英文アブストラクトに加筆して下さいる木戸哲夫講師に厚く御礼申上げる。

6. 文 献

- 1) R.A. Helliwell: Whistlers and Related Ionospheric Phenomena, 1965.
- 2) H. Barkhausen: Phys. Z, **20**, p.401, Sept, 1919.
- 3) E.T. Burton and E.M. Boardman: PIRE. **21**, p.1476, Oct. 1933.
- 4) T.L. Eckersley: Nature, **122**, p.768, Nov. 17, 1928.
Marconi Rev, **5**, No.31, p.5, 1931.
Nature, **135**, p.104, Jan. 19, 1935.
- 5) L.R. Storey: Phil. Trans. Roy. Soc. A., **246**, p.113, July 9, 1953.
- 6) A. Kimpara: Proc. URSI. **XI**. Com. IV, No.41, 1957.
Comptes rendus, **250**, p.2596, 4 avril 1960.
Nature, **186**, No.4720, p.230, 16 April 1966.
Rep. Ionos. Space Res. Japan, **XIV**, No.2, p.160, 1960.
Rep. Ionos. Space Res. Japan, **XIV**, p.27, 1962.
Comptes rendus, **254**, p.1467, 19 fév. 1962.
Nature, **193**, p.666, Feb. 17, 1962.
Nature, **193**, p.667, Feb. 17, 1962.
- 7) A. Iwai and J. Otsu: Proc. Res. Inst. Atmospherics, **4**, p.29, 1956.
5, p.50, p.53, 1958. **6**, p.44, 1959. **7**, p.58, 1960.
8, p.13, 1961. **9**, p.19, 1962. **11**, p.29, 1964.
13, p.1, 1966. **12**, p.11, 1965.
- 8) D.A. Gurnett et al: J. Geophys. Res, **70**, p.1665, April 1, 1965.

- I. Kimura et al: J. Geophys. Res, **70**, p.5961, Dec. 1, 1965.
D.L. Carpenter et al: J. Geophys. Res, **70**, p.3781, August 1, 1965.
R.L. Smith et al: J. Geophys. Res, **71**, p.1925, April 1, 1966.
- 9) P. Corcuff et al: Comptes rendus, **261**, p.1372, 1965.
Ann. de Géophys, **18**, No.4, p.334, 1962.
- 10) J. Delloue: J. Phys. Radium, **6**, p.514, juin 1960.
Ann. de Géophys, **21**, p.587, juillet 1960.
- 11) J. Delloue: Comptes rendus, **260**, p.6169, 9 juin 1965.
R.A. Helliwell: PIRE, **46**, No.4, April 1958.
K. Maeda and I. Kimura: Rep. Ionos. Res. Japan, **10**, p.105, Sept. 1956.
I.W. Yabroff: URSI-IRE Meeting, Washington D.C, April 25, 1958.