

# 気球による Cyg X-1 の時間変動の観測\*

中川 道夫\*\*・桜井 敬久\*\*\*・内田 正美†・山内 誠\*\*

(1985年5月20日受理)

## Balloon observation of hard X-ray time variation from Cyg X-1

By

Michio NAKAGAWA, Hirohisa SAKURAI,  
Masami UCHIDA and Makoto YAMAUCHI

**Abstract:** We observed Cyg X-1 by Balloon on 29 September 1982, using the total effective area of 880 cm<sup>2</sup> X-ray detector.

The observed energy spectrum of Cyg X-1 is similar to its high state spectrum. Distribution of counting rate with 200 msec bin shows the frequency excess compared with Poisson distribution at large  $\sigma$ .

By autocorrelation analysis, we found the shot noise reproduce by the simulation of exponential shot noise model.

### 概 要

1982年9月29日に、最大有効面積約880 cm<sup>2</sup>のX線検出器を用いて、Cyg X-1の気球による観測を行なった。

得られたエネルギー・スペクトルは過去のhigh stateのスペクトルとよく一致した。

bin巾200ミリ秒で求めたカウント数の分布では、poisson分布から大きくずれる分布が見つかった。また自己相関により、一時的に発生するshot noiseが見つかり、指数関数型のshot noiseを用いたシミュレーションの結果とよく一致した。

---

\* 宇宙研特別事業費による研究

\*\* 大阪市立大学理学部

\*\*\* 山形大学理学部

† 大阪信愛女学院

## 1. はじめに

Cyg X-1 は HDE 226868 と連星系を形成しており、ブラック・ホールの有力な候補と考えられている X 線星である。質量 5~15  $M_{\odot}$  のブラック・ホールをとりまく accretion disk より放射される X 線は、数ミリ秒から数カ月にわたる time scale で強度変化しており、その観測結果は、Cyg X-1 のモデルを考えるうえに重要な要素となる。

Cyg X-1 の X 線強度は、連星周期である 5.6 日の周期的な変動[1]の他、非周期的な変動では、数カ月間隔で交互に変わる、“high”, “low” state のように長期にわたる変動から、ミリ秒程度の変動まで種々の time scale で観測されている。

硬 X 線領域に於いては、Nolan 等が、HEAO-1 により、10~140 KeV のエネルギー帯で観測を行ない、0.08 秒から 1000 秒にわたる変動を報告している[2]。

特に、20 秒程度の変動をいくつかのグループが見い出している。[3][4][5]。

我々は、気球観測により得られたデータを使い、Cyg X-1 の X 線強度の時間変動を、いくつかの方法で解析した。その結果について報告する。

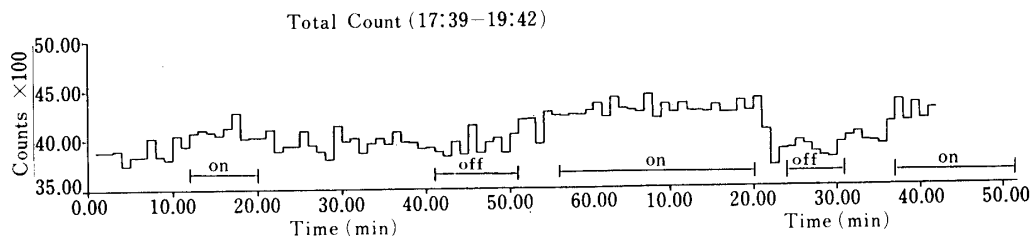
## 2. 観 測

X 線検出器には、5 inch NaI (Tl) シンチレーター 8 個を用い、視野は、東西方向×南北方向に  $20^{\circ} \times 4^{\circ}$  (FWHM) である。最大有効面積は約  $880 \text{ cm}^2$  である。

観測したエネルギーは、25 KeV~85 KeV で、この間を 6 エネルギー・バンドに分割し、カウンター別、エネルギー・バンド別に、40 ミリ秒間積分したカウント数が、PCM 送量器を通して送られて来た[6]。

気球は、1982 年 9 月 29 日、三陸大気球観測所より放球され、南中前後 3 時間にわたって、Cyg X-1 の観測を行なった。このとき、Cyg X-1 の binary phase は  $\phi=0.313$  であった[7]。また、後に述べるように、“high”, “low” state では high state であったと思われる。

南中前後 1 時間半の、1 分毎のカウント数の推移を第 1 図に示す。図中 on は、検出器が Cyg X-1 を見ている状態 (on-source) で、off は、Cyg X-1 に対して  $180^{\circ}$  反対側を向いている状態 (off-source) である。

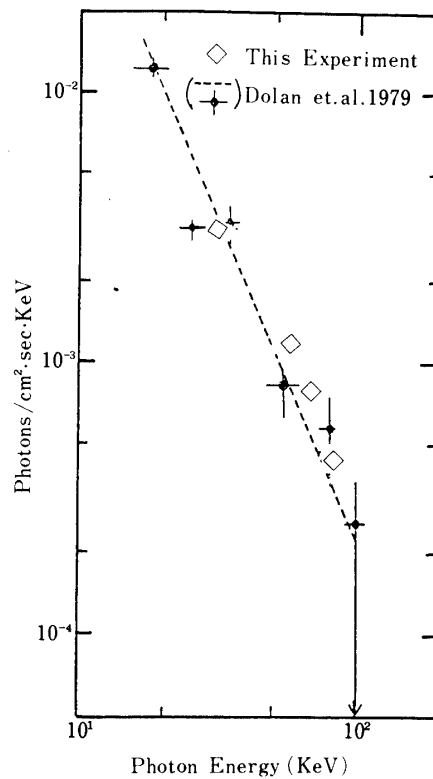


第 1 図

### 3. エネルギー・スペクトル

第2図は、第1図の on-source のデータから、off-source のデータより得られた back ground を引き、検出器のレスポンス及び大気の吸収を補正して求めた、大気頂上に於ける Cyg X-1 のエネルギー・スペクトルである。図中、菱形は我々の得たエネルギー・スペクトルであり、黒丸は OSO-8 により Dolan 等の得た high state のときの、エネルギー・スペクトルで、その best fit の直線を点線で示している[8]。

我々の得たスペクトルは、この Dolan 等のスペクトルとよく一致している。したがって、今回の観測は high state であると思える。



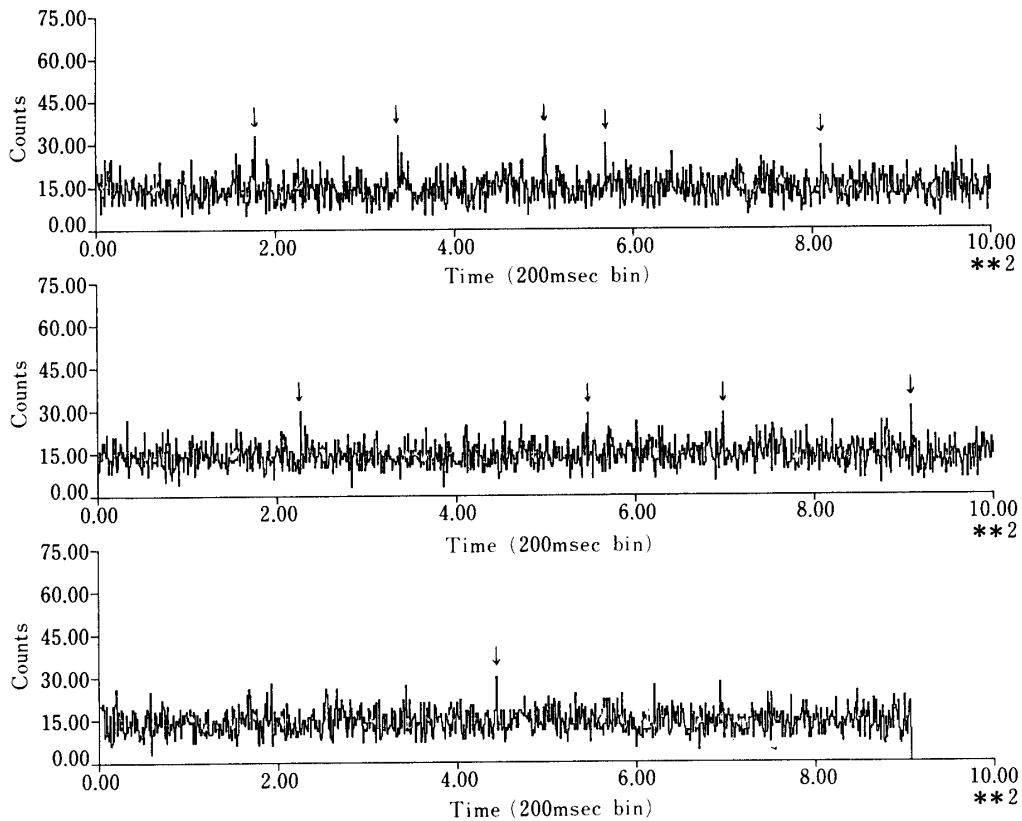
第2図

### 4. 時間変動の解析

最も S/N 比のよい南中前後約 10 分間 (18 時 40 分~18 時 50 分) の time profile を第 3 図に示す。bin 幅は 200 ミリ秒である。この 10 分間のデータをもとにして、X 線強度の時間変動を調べた。以下、それについて述べる。

#### (1) カウント数の分布

第 4 図は、200 ミリ秒の bin 中でカウント数の分布を調べたもので、横軸は平均カウント数からの差を  $\sigma$  で表わし、縦軸は  $0.5\sigma$  毎に含まれる bin の数を表わしている。図中、ヒス



第3図

トグラムは観測値の分布, ×印は poisson 分布より得られる期待値である。

第4図は,  $1.5\sigma$  までは観測値と期待値はよく一致しているが,  $2\sigma$  あたりから観測値が期待値より大きくなる傾向がある。

特に,  $3.5\sigma$  以上では, 期待値は1例であるのに対し観測値は10例である。 $3.5\sigma$  以上の所に10例以上現われる確率は,  $3.5 \times 10^{-4}$  以下であるので, poisson 分布ではまず起こらないといえる。

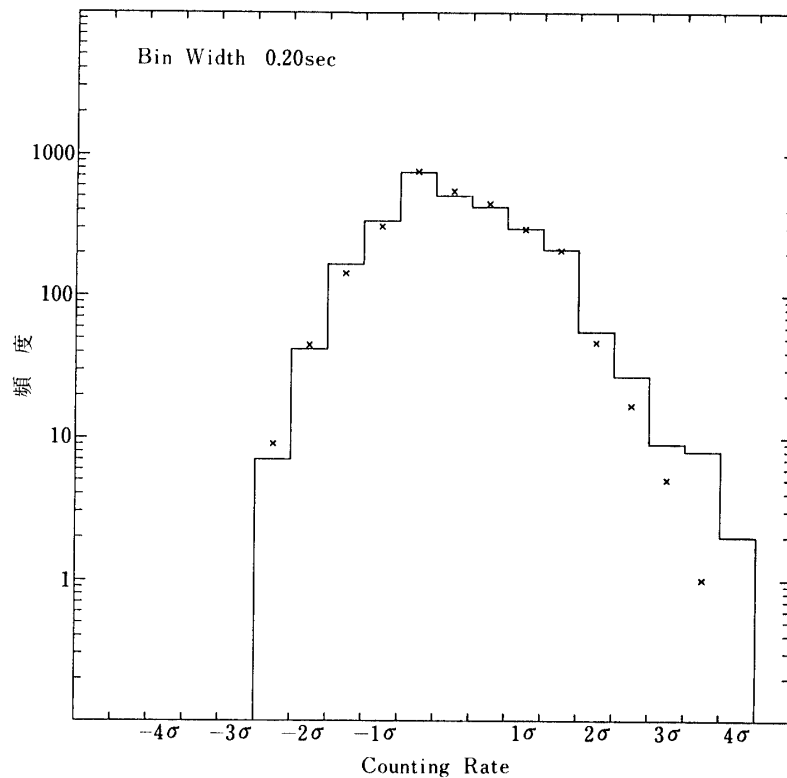
第3図に於いて矢印で示される現象が上記の10例である。

## (2) FFT 法

次に FFT 法を用いて, 周期的な変動を調べた。第5図は, FFT スペクトルである。横軸は振動数, 縦軸は最大値を1に採っている。

分散を小さくするため, 10分間のデータを巾40.96秒の14区間に分割し, それぞれの区間で bin 巾40ミリ秒, 1024点の FFT を行なった後, 全区間の値を平均化して求めた。各区間に於いては, データが有限であるために生じる歪みを小さくするために, データの始めと終りの  $1/10$  ずつの部分に, cosin 型の滑らかな, data window を掛けている[9],

第5図(A), (B)は, それぞれ, このようにして求めた, on-source 及び off-source 時の FFT スペクトルである。



第4図

(A), (B)とも著しいピークは見られず, したがって特徴ある周期成分は存在していない。

### (3) 自己相関

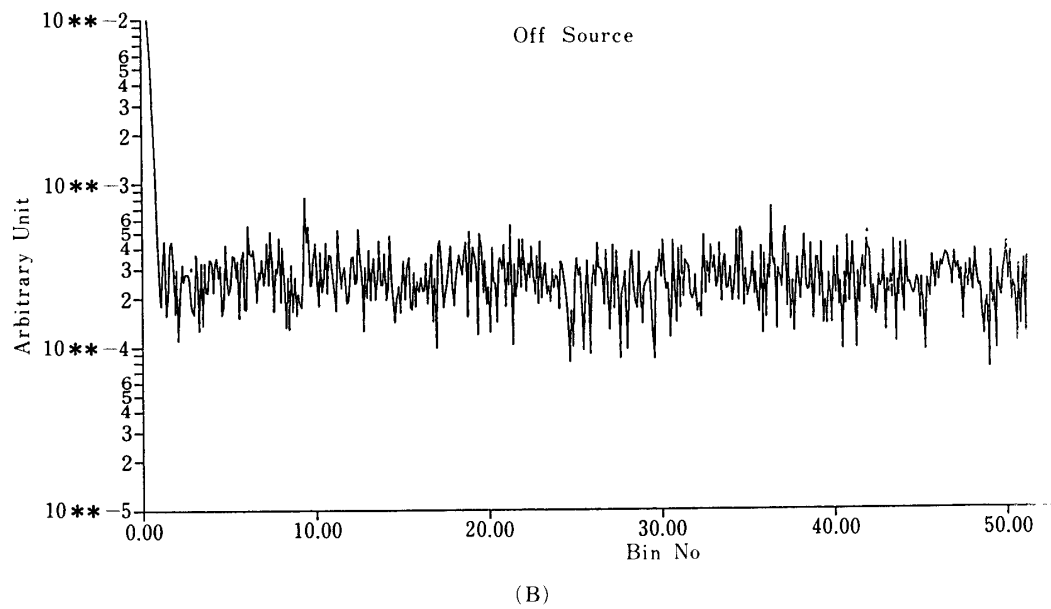
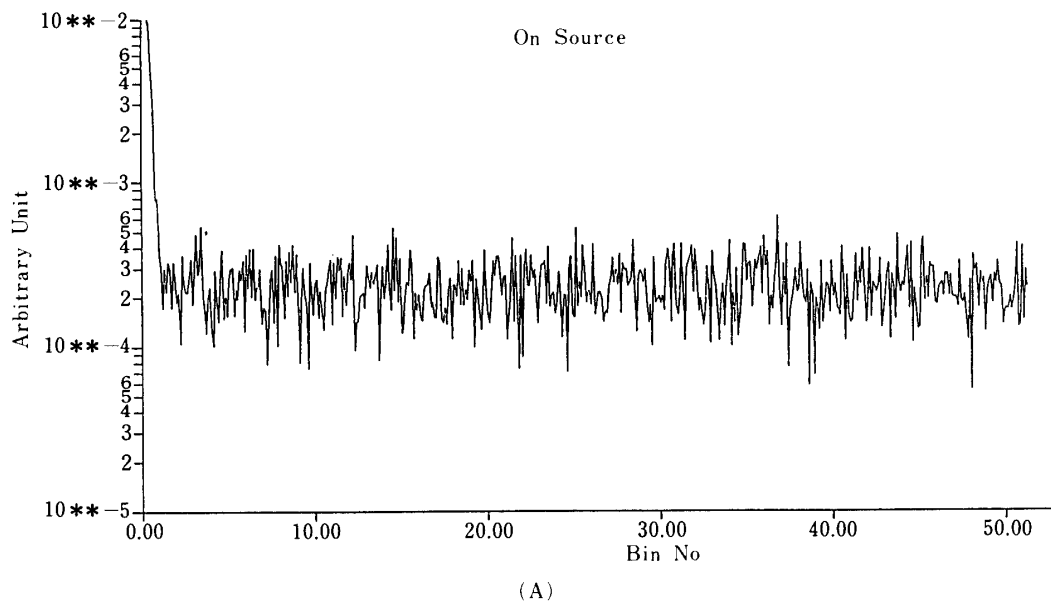
FFT スペクトルで見られるように, Cyg X-1 の時間変動には一定の周期が存在していない。

そこで, 我々は藤井等[4]と同様, 全データを1分毎に分割して, 1分間の自己相関を求めた。自己相関関数は, Sutherland 等の用いた, “partially unbiased” autocorrelation function  $\tilde{\rho}'_u$  を用いた。

$$\tilde{\rho}'_u \equiv \tilde{R}'_u / \tilde{R}_0$$

$$\tilde{R}'_u = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-u} (x_i - \bar{x})(x_{i+u} - \bar{x}) + \frac{(N-u)}{N^2(N-1)} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

ここで,  $\bar{x}$  は bin 当りの平均カウント数,  $x_i$  は  $i$  番目の bin のカウント数,  $N$  は bin の数である。この関数を用いることにより, 観測時間が有限であるために生じるバイアスの部分を取り除くことができる[10]。



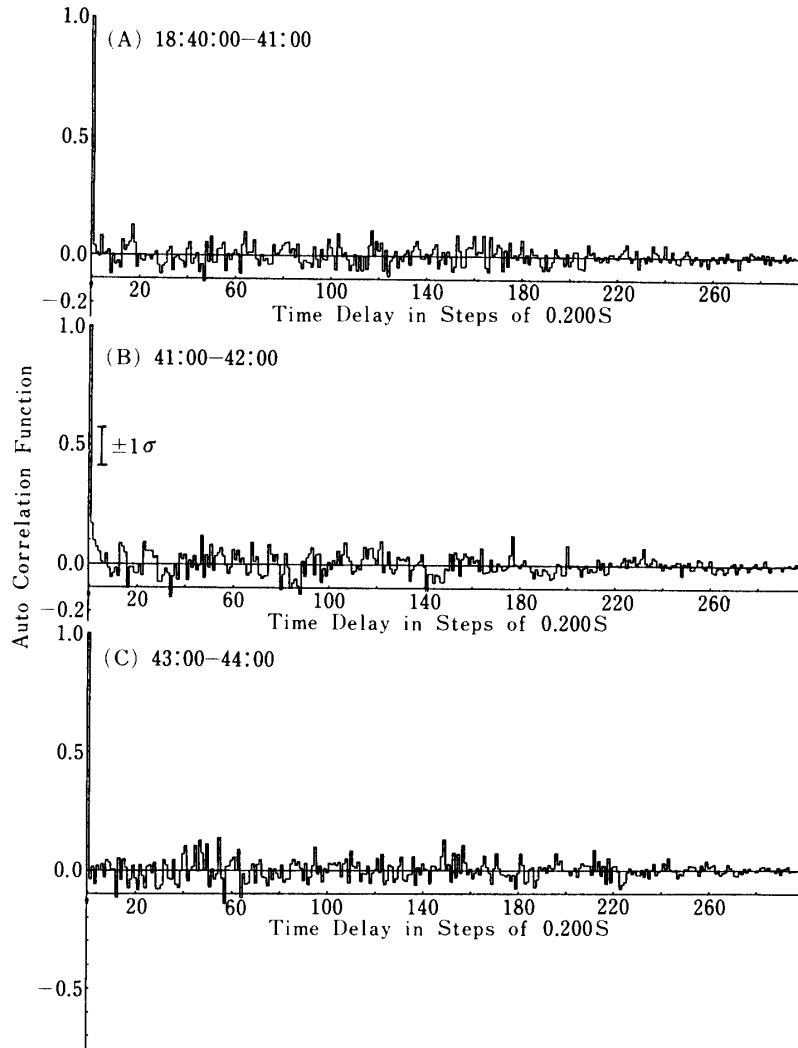
第5図

第6図は、このようにして求めた各時刻の自己相関の図である。比較するのによい時間帯を示している。bin巾は200ミリ秒である。

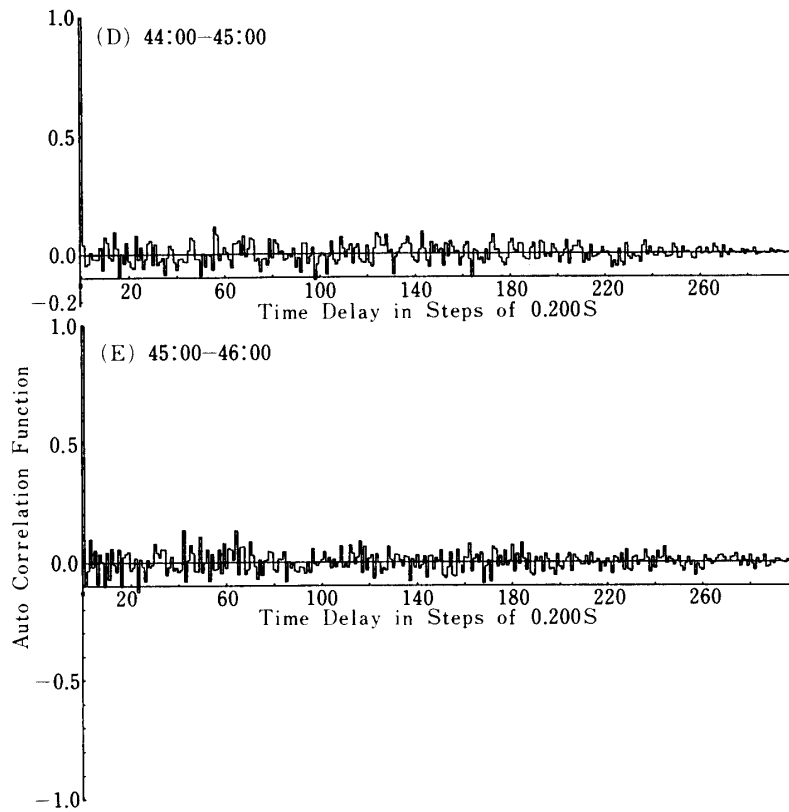
全体的な傾向として、各時間とも time lag が大きくなるにつれて、0に収束していくことから、Cyg X-1の時間変動は、基本的には、ランダムな変動であるといえる。

しかし、第6図(B)は他と比較すると、最初の数stepに違いが見られる。この違いは誤差棒の範囲内であるので poisson 分布の fluctuation の可能性も考えられるが、decayの様子が指数関数的であり、偶然と考えるよりも、shot noiseのような何らかの短時間変動が存在しているとする方が、より自然である。

shot noiseは、時定数を $\tau$ とすると、 $h(t) = he^{-t/\tau}$ の指数関数型のモデルで説明される場合が多い[11]・[12]が、データ中にそのようなshot noiseが含まれている場合は、自己相関も指数関数型となる。



第6図

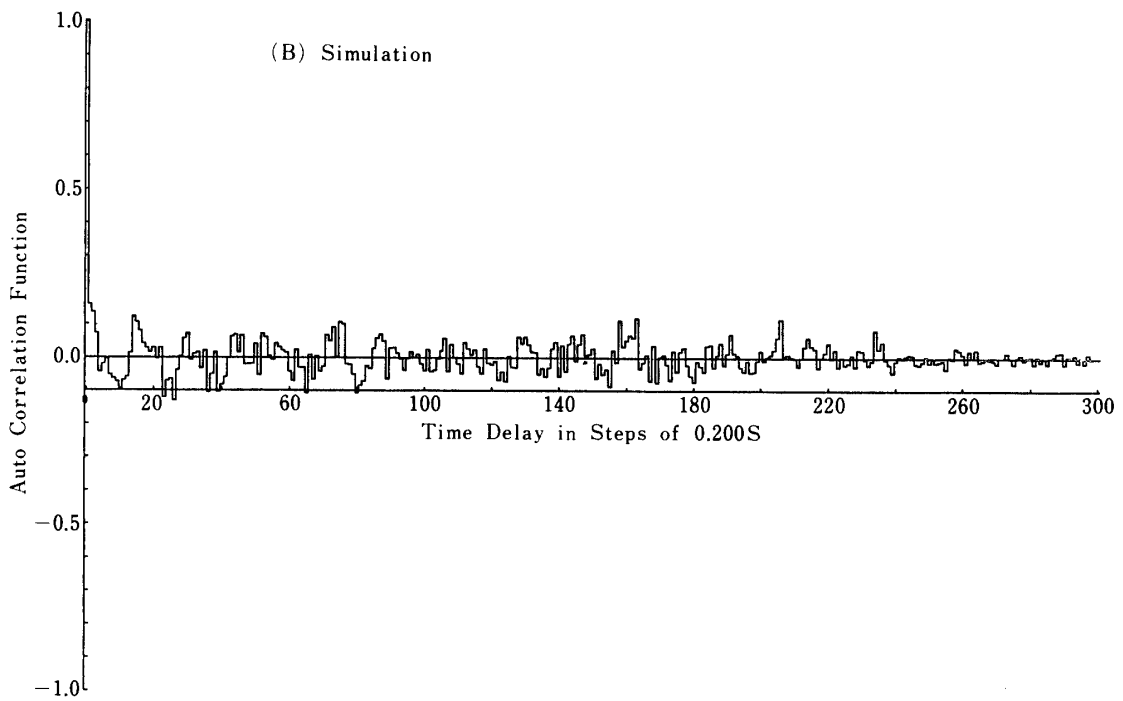
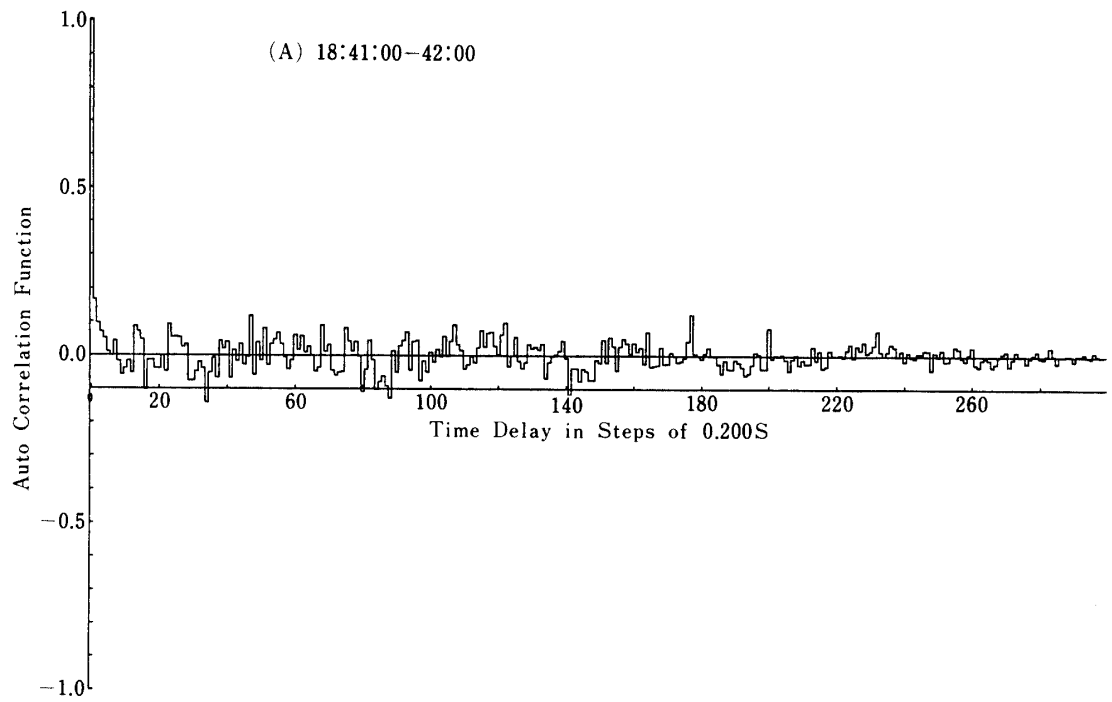


第6図

今までの報告と同様に shot noise が指数関数型であると仮定して、シミュレーションしたものが第7図(B)である。shot rate  $\lambda$  及び時定数  $\tau$  を変化させ、シミュレーションにより得られた自己相関の中でもっとも観測結果と一致しているもので、 $\tau=0.55$  秒、 $\lambda=6.5 \times 10^{-2}$ /秒である。

第6図(B)を拡大したものが、第7図(A)である。第7図(B)は(A)をよく再現しており、この時間帯に、指数関数の型の shot noise model でシミュレーションできる短時間変動が存在していることを示している。





第 7 图

## 5. おわりに

第4図によると、平均から  $3.5\sigma$  以上離れている bin が、10例見いだされる。我々は自己相関を1分毎に取ったが、その各時間帯に含まれる、これら  $3.5\sigma$  以上の bin の数を第一表に示す。

第1表

時刻(JST)	18時40分	41	42	43	44	45	46	47	48	50 <sup>(a)</sup>
bin 数	1	3	1	0	1	2	1	0	1	0

(a) 40秒間

この表において、それぞれの例数を含む確率を求めると、1例は約  $2.7 \times 10^{-1}$ 、2例は約  $5.4 \times 10^{-2}$ 、3例は約  $7.1 \times 10^{-3}$  である。

また第6図では、(A)は1例、(B)は3例、(C)は含まれず、(D)は1例、(E)は2例となる。この3例含まれる第6図(B)に於いて相関が見られ、指数関数型の shot noise model で、シミュレーションできる短時間変動が存在していることを示した。この点については、何らかの関係がある可能性があり、今後の課題である。

## 謝 辞

気球実験の際には、宇宙科学研究所の西村研究室および広沢研究室の方々に協力していただきました。データ変換の際には、近藤一郎先生に多くの助言をしていただきました。ともに感謝しています。

## 参 考 文 献

- [1] C. T. Bolton Nature, **235**, 271, 1972
- [2] P. L. Nolan, D. E. Gruber, J. L. Matteson, L. E. Peterson, R. E. Rothschild, J. P. Doty, A. M. Levine, W. H. G. Lewin, and F. A. Primini Ap. J., **246**, 494, 1981
- [3] M. Nakagawa, H. Sakurai, and M. Uchida Adv. on Sp. Expl. **3**, 501, 1979
- [4] 藤井正美, 西村純 大気球シンポジウム昭和46年度
- [5] F. Frontera and F. Fuligni Space Sci. Rev., **30**, 379, 1981
- [6] 中川道夫, 桜井敬久, 内田正美  
宇宙科学研究所報告特集第11号, P 71, 1984
- [7] D. R. Gies and C. T. Bolton Ap. J., **260**, 240, 1982
- [8] J. F. Dolan, C. J. Crannell, B. R. Dennis, K. J. Frost, and L. E. Orwing Ap. J., **230**, 551, 1979
- [9] 日野幹雄 スペクトル解析 p 193
- [10] P. G. Sutherland, M. C. Weisskopf, and S. M. Kahn Ap. J., **219**, 1029, 1978
- [11] N. James Terrell, Jr. Ap. J., **174**, L35, 1972
- [12] M. C. Weisskopf, P. G. Sutherland, J. I. Katz, and C. R. Canizares Ap. J., **223**, L17, 1978