

9. パラメトリック励起下でのマグノン系のカオス

岡山大・理 味野 道信 山 寄 比登志

強磁性体、反強磁性体では、外部磁場と平行にマイクロ波磁場を加える平行励起法 (Parallel Pumping) により、マグノン対をパラメトリック励起することができる。この時励起されるのは、励起マイクロ波の半分の周波数で、大きさが等しく互いに反対方向に進む波数ベクトルを持つマグノン対、つまり定在波である。この方法では、励起電力が弱い時は、熱平衡状態にある少数のマグノンによる、極弱い吸収が有るのみで、通常これは観測にかからない。ところが、励起電力が閾値 P_c を越えると、励起が緩和を上回り、特定のモードのマグノンが雪崩現象的に増加する。励起をさらに強くすると、いくつかのモードが熱平衡値を越えて存在する様になる。そして、このモード間の非線形結合により自励発振、さらにはカオスが発生することが知られている。¹⁻³⁾

今回、YIG (イットリウム鉄ガーネット) を用いた、マイクロ波平行励起実験の結果について報告する。実験は、温度 4.2K で円盤状 YIG 単結晶を、8.9 GHz マイクロ波を用いて励起した。外部静磁場、マイクロ波磁場共に、磁化容易軸である [111] 方向に加えた。マグノン数の変動は、吸収されるマイクロ波電力の振動として検出される。これをデジタルメモリ上に取り込んだ後、シグナルアナライザ、及びマイクロコンピュータに転送し解析を行った。なお、外部静磁場は、波数 $k \approx 0$ で外部静磁場に対して垂直に進むモードが最初に励起される値に固定してある。

まず、励起パラメータに相当するマイクロ波の増加と共に、周期 2 の発振を経てカオスが観測された。今までのところ、この過程で部分的には周期 4 も現れるが、安定な周期 4 の振動は観測されていない。これをパワースペクトルで見ると、 f_0 、 $1/2 f_0$ 、 $1/4 f_0$ 、 $3/4 f_0$ にピークを持つバンド状から、 f_0 以外なめらかなバンド状に変化して、カオスになる。これは、外部静磁場などの実験パラメータのふらつきによると考えられる。このカオス状態では、ストレンジアトラクタのフラクタル次元が相関積分法で 2.0 と求まり、図 1 の様に明確な一次元リターンマップが得られることから、典型的な少数自由度カオスと考えられる。このリターンマップから、最大リアプノフ指数 $\lambda = 0.34$ を得た。さらに励起を強くすると、周期 4、周期 2 を経て再び単一周周期発振となる。この時、基本発振周波数、振幅共に増大している。

励起をさらに強くすると、再び非周期発振が観測される様になる。このパラメータ域では多くの興味ある発振が得られている。ここでは、その一部のパワースペクトルを紹介する (図 2)。なお、最初にマグノンが不安定増大する閾値電力 P_c に対する $\log$ 比で励起電力を表記する。

$P = 7.52$ dB では、周期 6 の振動が観測され、 $P = 7.79$ dB で再び長周期の振幅変動を含むカオス的発振になる。この時ストレンジアトラクタの次元として 2.8 を得た。更に励起を強くすると再び周期的になった後、波形上に瘤が発生し、それが大きくなり、基本周波数が 2 倍となった波形が得られる ($P = 10.95$ dB)。そ

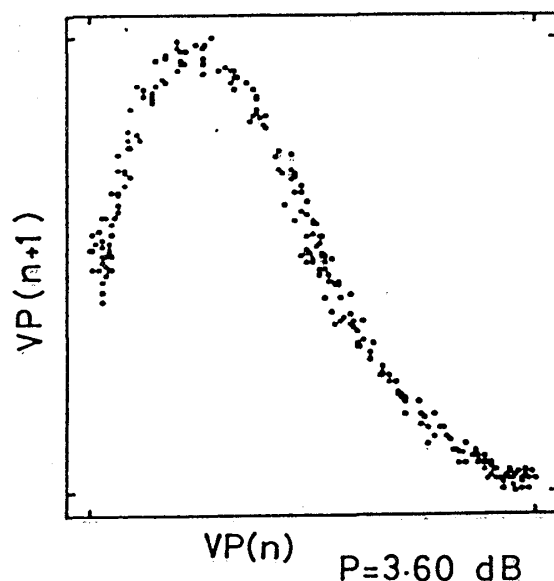


図 1

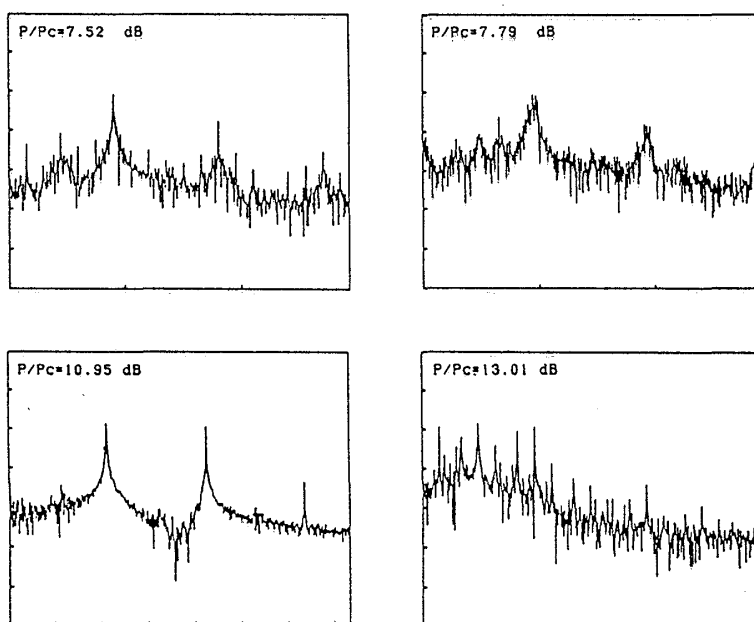


図 2-1

して、 $P=13.01$ dB でパワースペクトルに多くのピークを持つアトラクタの次元 3.0 の振動が現れた。この時、一次元リターンマップを描くと明確ではないが決定論的要素が有る様に思われる。その後、 $P=13.46$ dB で周期 5 の振動が観測された。この周期 5 の振動は、各成分が整数比からずれる様に変化し、 $P=14.32$ dB ではアトラクタの次元 3.1 の準周期的発振、 $P=15.12$ dB では周期 12、更に $P=16.20$ dB ではアトラクタの次元 4.2 の非周期発振が観測された。

この二度目の周期発振後のパラメータ域でのカオスが、最初に現れたカオスと同一マグノン緩和機構から発生しているかどうか、つまり二度目の周期発振が励

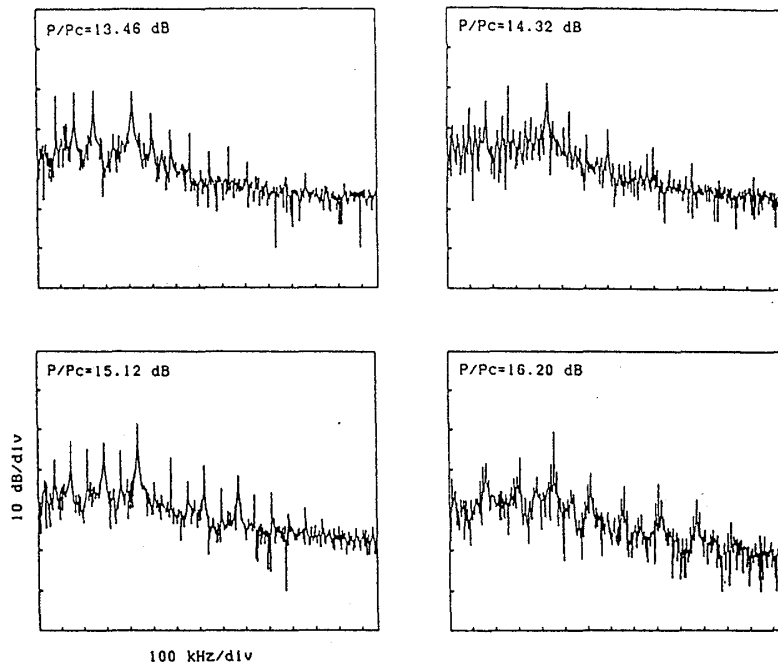


図 2-2

起パラメータの変化のみによるウィンドウかどうかは、判っていない。これは、励起電力により試料が発熱し、マグノン-マグノン、マグノン-フォノン相互作用等が変化したために発生したとも考えられるためである。またこの領域では、明確な一次元リターンマップは得られておらず、ここでのアトラクタの次元が、最初に現れたストレンジアトラクタの次元(2.0)に比べて明かに高くなっていることから、より多くのモードのマグノンがこのシステムに関与していると考えられる。つまり、より高次元のカオスではないかと思われる。従って、今まではマグノン系でのモデル、シミュレートは主として2モードモデルで行われてきているが、今後、より高次のモデルによるシミュレートと、実験との比較が必要になると考えられる。そして、このストレンジアトラクタの比較から、大電力励起下におけるマグノン緩和機構モデルの検証も行えるのではないかとと思われる。

参考文献

- 1) M.Mino and H.Yamazaki: J.Phys.Soc.Jpn. 55(1986)4168.
- 2) H.Yamazaki and M.Warden: J.Phys.Soc.Jpn. 55(1986)4477.
- 3) H.Yamazaki, M.Mino, H.Nagashima and M.Warden: J.Phys.Soc.Jpn. 56(1987)742.