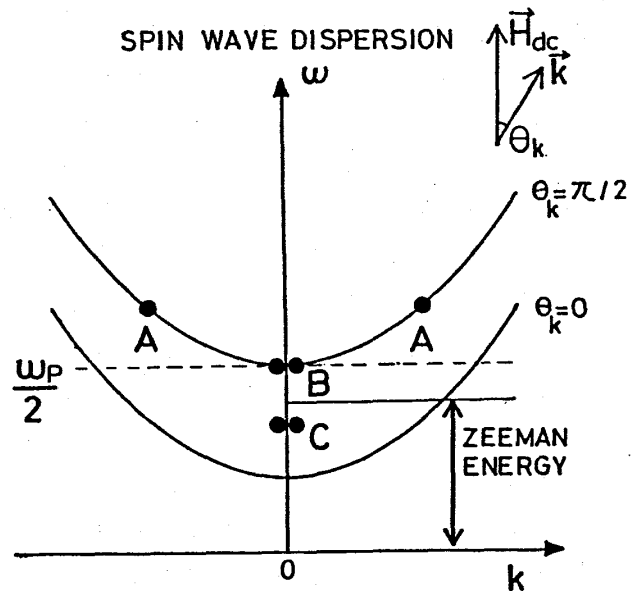


マグノン系における間欠カオスの観測

岡山大・理 味野道信 光藤誠太郎 山畚比登志

カオスを示す力学系についての研究が数多くなされてきているが、実験から得られているデータの多くは、複雑な解析手法が適用できるほどの精度及びデータ点数を持っていないのが実状である。その中でマグノン系の実験は、流体の実験と同様に比較的質の高いデータが得られている。また、この系の特徴としてマグノン間の微視的相互作用が今までによく知られており、シミュレーションとの比較も多く研究されている点が挙げられる。<sup>1)</sup>

今回は、球状のYIG（イットリウム・鉄・ガーネット）を用いた9GHzマイクロ波による平行励起実験を室温で行った。平行励起は、マイクロ波磁場を静磁場と平行に加えて、マイクロ波周波数の1/2の振動数( $\omega_p/2$ )を持つ、波数が $+k$ と $-k$ のマグノン対（定在波）を励起する方法である。マグノンは、磁気双極子相互作用のために、波数ベクトル $k$ が静磁場となす角度 $\theta_k$ によりエネルギーが異なる。そのため、図(1)に示す様に、その分散関係にバンド幅を持つようになる。そこで、最初にマイクロ波によって励起された波数 $\pm k$ のモードと、同じ振動数の波数 $\pm k'$ のモードとの間に非線形結合（4マグノン相互作用）が起こり、自励発振やカオスが発生すると考えられている。実験ではマイクロ波周波数を一定に保ち、静磁場の大きさを変えることによりゼーマンエネルギーを変化させてマグノンバンド全体を上下させることにより、最初に励起するモード（波数ベクトル）を選択することができる。これにより、モード間の非線形結合の強度、各モードの減衰定数等が変化し、異なるタイプのカオスの発生が期待される。そこで、静磁場1540 Oe、1565 Oe、1685 Oeの3点で、励起パラメータに相当するマイクロ波強度を増加させ、マグノン数の時間変動を観測した。今回の実験では、マグノン数はマイクロ波の吸収量として検出されている。なお、各磁場において、最初のモードが熱平衡値を越えて突然増大し始める電力 $P_c$ を0 dBとして表記してある。

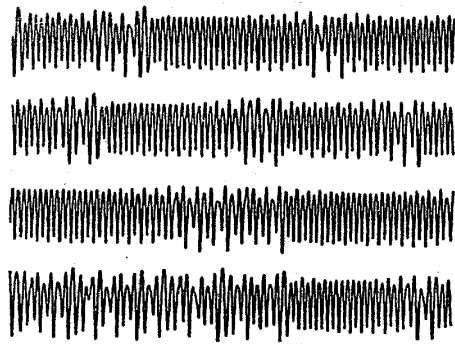


図(1)

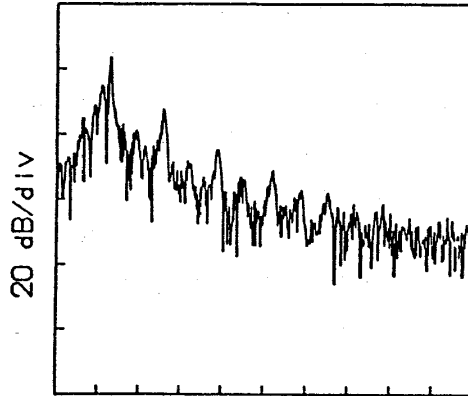
静磁場1540 Oeでは、図(1)中のAモード ( $\theta_k = \pi/2, |k| > 0$ ) が励起される。図からわかる様に、結合すると予想される縮退しているモードも、ある程度の波数を持っていることになる。この時、 $P/P_c = 1.08\text{dB}$ で約100kHzの自励発振が現れ、 $P/P_c = 1.22\text{dB}$ で周期-2に分岐した後、1.48dBでは再び周期-1に近い発振に変化

静磁場1540 Oeでは、図(1)中のAモード ( $\theta_k = \pi/2, |k| > 0$ ) が励起される。図からわかる様に、結合すると予想される縮退しているモードも、ある程度の波数を持っていることになる。この時、 $P/P_c = 1.08\text{dB}$ で約100kHzの自励発振が現れ、 $P/P_c = 1.22\text{dB}$ で周期-2に分岐した後、1.48dBでは再び周期-1に近い発振に変化

$H_{dc} = 1540 \text{ Oe}$     $P/P_c = 1.74 \text{ dB}$



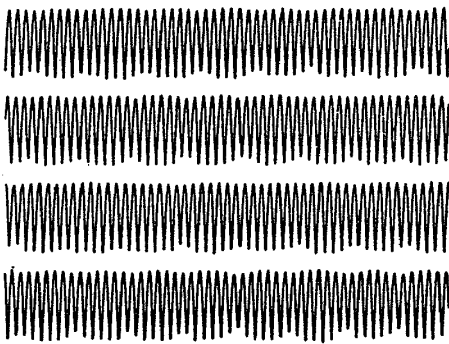
0.6 m SEC



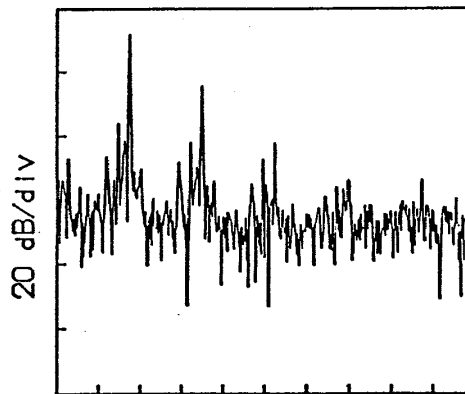
100 kHz/div

図 ( 2 )

$H_{dc} = 1685 \text{ Oe}$     $P/P_c = 5.55 \text{ dB}$



0.12 m SEC



250 kHz/div

図 ( 3 )

した。この後、 $P/P_c = 1.47 \text{ dB}$ でtype IIIの間欠カオスが観測されている。図(2)に得られた波形の一部とパワースペクトルを示す。

静磁場  $1565 \text{ Oe}$ で図(1)中のBモード ( $\theta_k = \pi/2, |k| \sim 0$ )を励起したとき、 $P/P_c = 0.15 \text{ dB}$ と弱いマイクロ波で約  $50 \text{ kHz}$ の非周期的な自励発振が起き、 $P/P_c = 0.85 \text{ dB}$ では高次元カオスに移行する。この静磁場では、比較的弱いマイクロ波で発振が起こることより、結合している  $k'$  マグノンも比較的減衰定数の小さいモードであると考えられる。このために、僅かの励起の増加により、多くのモードが運動に関与し、高次元カオスに移行すると思われる。

静磁場  $1685 \text{ Oe}$ で図(1)中のCモード ( $\theta_k < \pi/2, |k| \sim 0$ )が励起される。この磁場では、縮退しているモードは  $\theta_k$ が  $\pi/2$ 以下のモードのみである。 $P/P_c = 1.26 \text{ dB}$ で約  $200 \text{ kHz}$ の周期-1の自励発振、 $P/P_c = 1.52 \text{ dB}$ で周期-2の発振、そして  $P/P_c = 2.22 \text{ dB}$ で相関次元  $D_2 = 4.9$ のカオスが観測されている。更に励起を強くすると、 $P/P_c = 3.24 \text{ dB}$ で再び周期-4的発振に変化した後、 $P/P_c = 4.92 \text{ dB}$ では  $D_2 = 3.9$ のカオ

## 研究会報告

ス,  $P/P_c=5.55\text{dB}$ で準周期的発振が起こる(図(3)). シミュレーションでは, 準周期発振は3つ以上のマグノンモードが運動に関与している時に現れており, 自由度の大きいカオスへの移行と一致する. そして,  $P/P_c=6.08\text{dB}$ では, より複雑な発振へと変化している様子が捕らえられている.

終わりに, 先に述べたように静磁場を変化させた時に現れる自励発振(振動数やカオス波形)が異なるということは, 励起されるモードや, その間の微視的相互作用の違いを反映していると考えられる. 従ってカオスの定量化から, シミュレーションとの比較を通して物質定数の決定などが考えられる. しかしながら, 実験で得られるデータの質, 及び量からでは, カオスを定量的に評価することは(特に次元が高くなると)困難であり, 今後強力な解析方法の確立が期待される.

### [参考文献]

- 1) H. Yamazaki and M. Mino: Prog. Theor. Phys. Suppl. 98 (1989) 400.  
M. Mino, H. Yamazaki and K. Nakamura: Phys. Rev. B 40 (1989) 5279.