

スール第一次不安定性領域でのマグノン系カオス

岡山大・理 光藤誠太郎 味野道信 山畚比登志

はじめに

強磁性体が大電力マイクロ波によって励起すると磁化が自励的に振動する現象がみられる。この振動は様々で、周期的、準周期的、カオス的、など流体実験の乱流状態に類似した様々な現象が観測されている。この系の特徴として、S u h l によるスピン波（マグノン）不安定増大に関する理論を始めとして理論的にもよく研究されていることが挙げられる。微視的なスピン波間の非線形相互作用による様々なモデルハミルトニアンも示され、コンピュータシミュレーションによっても同様な現象が示されている。また実験においても比較的質の高いデータが得られ、ある程度までの解析に耐えることが出来る。

スピン波の励起

スピン波の励起には図 1 に示すように 3 種類の過程がある。

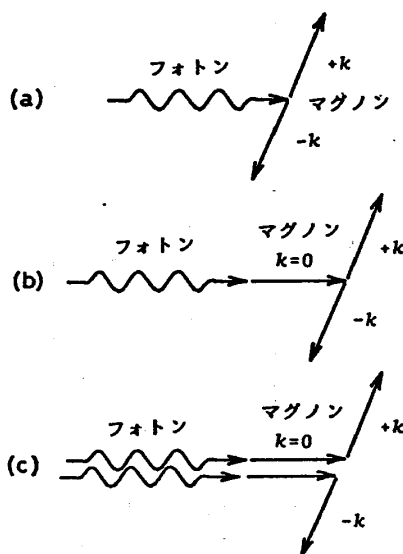


図 1

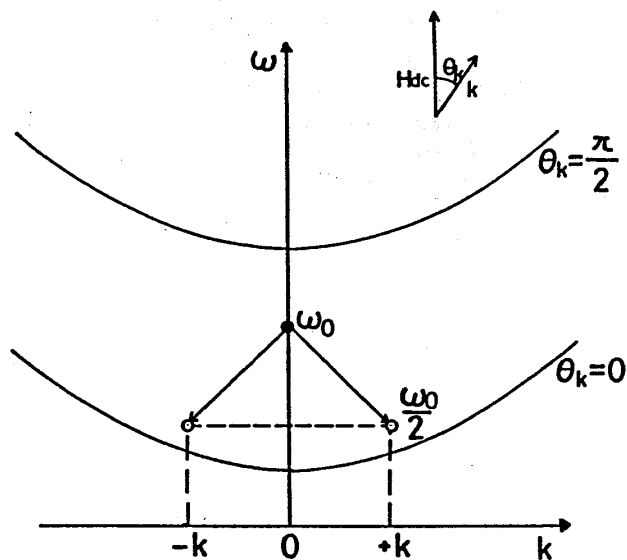


図 2

図 1-(a) は平行励起と呼ばれマイクロ波（フォトン）により周波数が励起周波数の $1/2$ で、波数が $\pm k$ ($k \neq 0$) のスピン波対を励起する方法である。

図 1-(b) は S u h l の一次不安定性を用いる方法で、マイクロ波により励起周波数と同じ周波数で、波数 $k=0$ のスピン波（ユニフォームモード）を励起し、それが励起周波数の $1/2$ で波数 $\pm k$ のスピン波対に分裂する。図 1-(c) は S u h l の 2 次の不安定性を用いる方法で、周波数が励起周波数と同じで、波数が $k=0$ のスピン波が 2 つ励起され、その 2 つが励起周波数と同じ周波数で波数が $\pm k$ のスピン波対を生成して消滅する。(a) では外部静磁場とマイクロ波磁場は平行に加えられ、(b) (c) では垂直に加えられる。

平行励起による研究はモデルハミルトニアンによるシミュレーションも含めて多くなされている。¹⁾

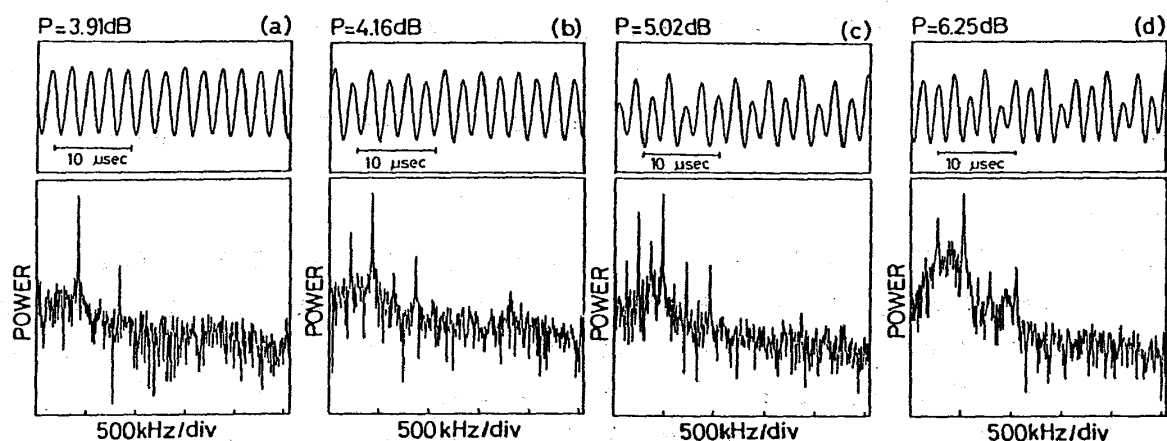


図 3

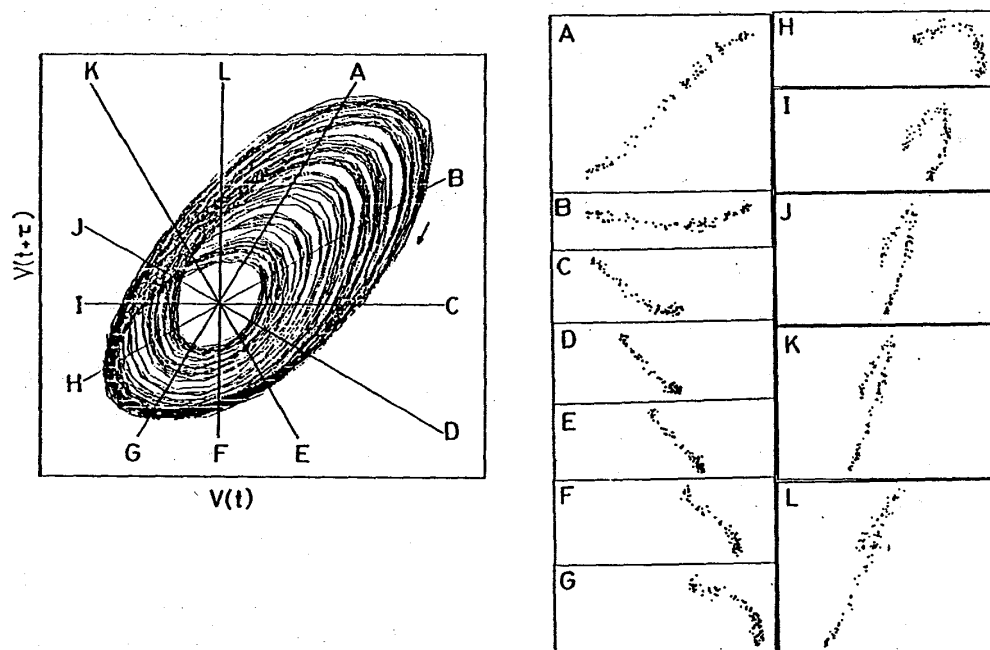


図 4

今回は (b) の $S_{uh}1$ 一次不安定性を用いた励起により観測された現象について紹介する。(b)におけるマグノンの分散関係は図2のようになる。マグノンは磁気双極子相互作用のため、波数ベクトル k と外部静磁場のなす角 θ_k によりエネルギーが異なる。そのため、バンド構造を示す。このとき $2-4\text{ GHz}$ 程度の周波数で励起を行うと、フォトンにより最初に励起されるユニフォームモードとそれが消滅して出来る $\pm k$ マグノンが共にバンドの中にある。この領域においては比較的弱い励起電力でも自励発振が観測される。

2)

実験

互いに直交しかつ各々のコイルの軸が外部静磁場と直交するように設置されたコイルの中心に球状の YIG (イットリウム・鉄・ガーネット) の単結晶を置き、一方のコイルでマイクロ波磁場により励起を行い、もう一方のコイルにより直接スピンの歳差運動をピックアップする方法を用いている。以下に紹介する測定データは液体ヘリウム温度 (4.2 K) において、 3.3 GHz のマイクロ波によって励起を行ったもので、外部

静磁場1308 Oeは、YIGの磁化容易軸方向 $[111]$ に加えている。データのサンプリング間隔は $0.1\mu\text{sec}$ で、4096点のサンプリングを行っている。

図3はマイクロ波の励起電力変化にともなう自励発振の変化を波形とフーリエスペクトルによって示している。励起が強くなるにしたがい周期1-周期2-周期4と、周期倍分岐ルートが見られる。さらに励起を強くすると発振は不規則になりフーリエスペクトルはブロードになっていくのがわかる。この $P=6.25\text{dB}$ ($40\text{mW}=0\text{dB}$)の時系列データを遅延時間 ($\tau=0.3\mu\text{sec}$) を用いて、3次元 $[V(t), V(t+\tau), V(t+2\tau)]$ の相空間に埋め込みを行い、それを $V(t)$ 対 $V(t+\tau)$ 面に投影したアトラクタと、その $V(t+2\tau)$ 軸に平行な面(A, B, ..., L)で切った断面を図4に示す。断面は薄いシート状をしており、位相空間で体積が時間と共に減少する散逸系の特徴を示している。またシート状の軌道の断面が時間発展と共に折り畳みと引き延ばしを繰り返して軌道が複雑になっていく様子がわかりフラクタル構造が予測される。そこでこの相関次元を求めると、 $D_2=1.9$ 次元であった。

カオスのオンセットと思われる $P=4.16\text{dB}$ について、スプライン補間を行いデータ点数を10倍(40000点)にした時系列データから、ルジャンドル変換を用いる方法により求めた $f(\alpha)$ スペクトルを図5に示す。黒丸が実験データから得られた $f(\alpha)$ スペクトルであり、これは軌道全体から求めているので時間発展方向にあたる1次元分を差し引いてある。実線はロジスティックマップより得られたカオスのオンセットにおける $f(\alpha)$ スペクトルの普遍カーブであり両者により一致がみられる。

おわりに

YIGのSuhl一次不安定性によるマグノンの励起によって、低次元のカオスが観測された。またカオスのオンセットにおける $f(\alpha)$ スペクトルを求めることができ、 $f(\alpha)$ 普遍カーブとよい一致を見た。以上の状況は平行励起による実験の結果と同様であり、カオス発生のメカニズムも同様であろうと考えられる。平行励起の実験では、さらに励起電力を強くして行くと、高次元のカオスが観測されている。今回は装置の都合上これ以上励起を強くすることが出来なかったが、さらに励起を強くして行ったときに、どのような振舞いをするかを調べるつもりである。またシミュレーションとの比較などにより物性における非線形相互作用の手がかりを見つめることが出来るかが今後の課題である。

$P=4.16\text{dB}$

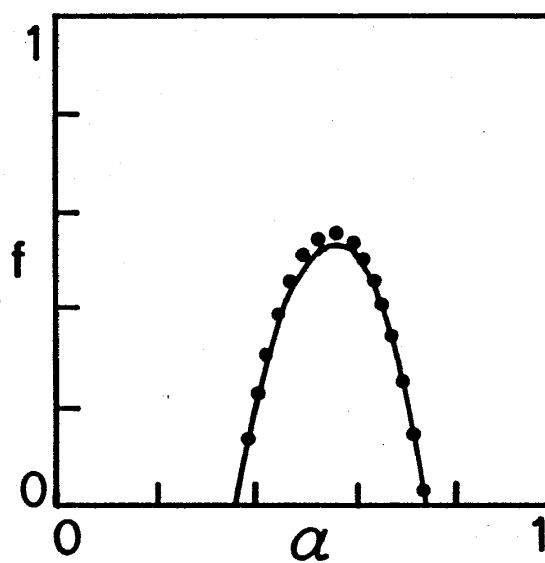


図5

【参考文献】

- 1) H. Yamazaki and M. Mino: Prog. Theor. Phys. Suppl. 98 (1989) 400.
- 2) H. Benner et. al.: J. de Phys. 49 (1988) C8-1603.