

可飽和吸収体を共振器内に含むレーザー系におけるカオス

東大理 藤平威尚、立川真樹、清水忠雄

われわれは非線形散逸系の引き起こすダイナミクスの一環としてレーザー系で見られるカオス等の不安定性の研究を行っている。レーザー系は放電電流などのコントロールパラメーターを良く制御でき、また比較的その物理的な仕組みの解明がなされているという点で、実際にカオスを実現する系として優れたものである。

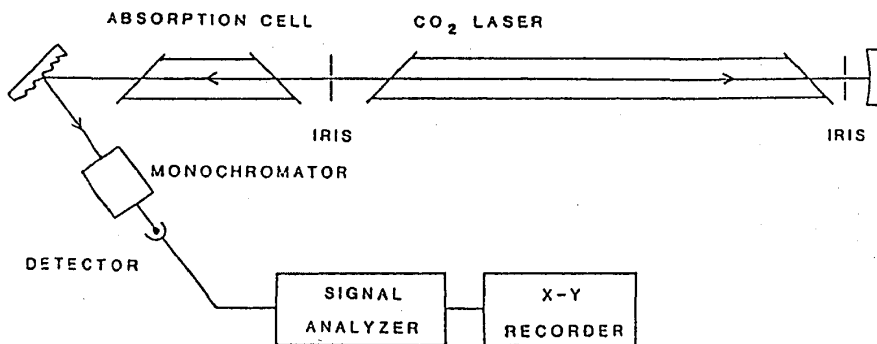


図1 装置図

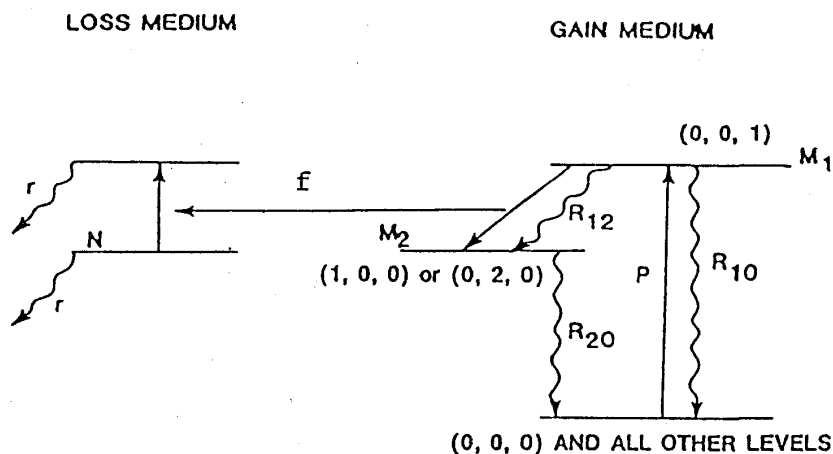


図2 解析に用いたモデルの準位図

ここでは図1に示すようなレーザー光を非常に強く吸収してしかも容易に飽和を起こす吸収体（可飽和吸収体）を赤外CO₂レーザーの共振器内に導入した系で見られるカオスを紹介するとともに、その要因について考察する。

レーザー系の利得媒質は一番簡単には2準位モデルで記述されるが(ref. 1)、図1の系で見られるさまざまな自動パルス波形の多くは2準位モデルでは再現されない。しかしこれに対して、CO₂分子の振動準位構造の特殊性を考慮にいれ、特にレーザー上下準位に対する緩和の速さの違いを取り入れてこの2準位を独立の自由度として扱った

(図2) レート方程式

$$\dot{f} = (M_1 - M_2 - B \frac{1}{1 + f/f^*} - K) f$$

$$\dot{M}_1 = -(M_1 - M_2) f - (R_{10} + R_{12}) M_1 + P (M - M_1 - M_2)$$

$$\dot{M}_2 = (M_1 - M_2) f + R_{12} M_1 - R_{20} M_2$$

を導入することによって、観測された波形はすべて、細部まで忠実に再現することが可能となった(ref. 2)。図3に、実際にこの系で観測された放電電流の増加に伴って見られる周期倍加とカオスの時系列(左側)、およびレート方程式による再現の様子(右側)を示す。両者のよい一致が確認できる(ref. 3)。

さらに、この系でカオスを引き起こしている要因を特定するため、解軌道の不安定性の解析を行った。図4に示すように、レート方程式の解のずれの時間発展を記述するヤコビ行列の固有値(下段実線)の最大のもの、レーザー光強度 f

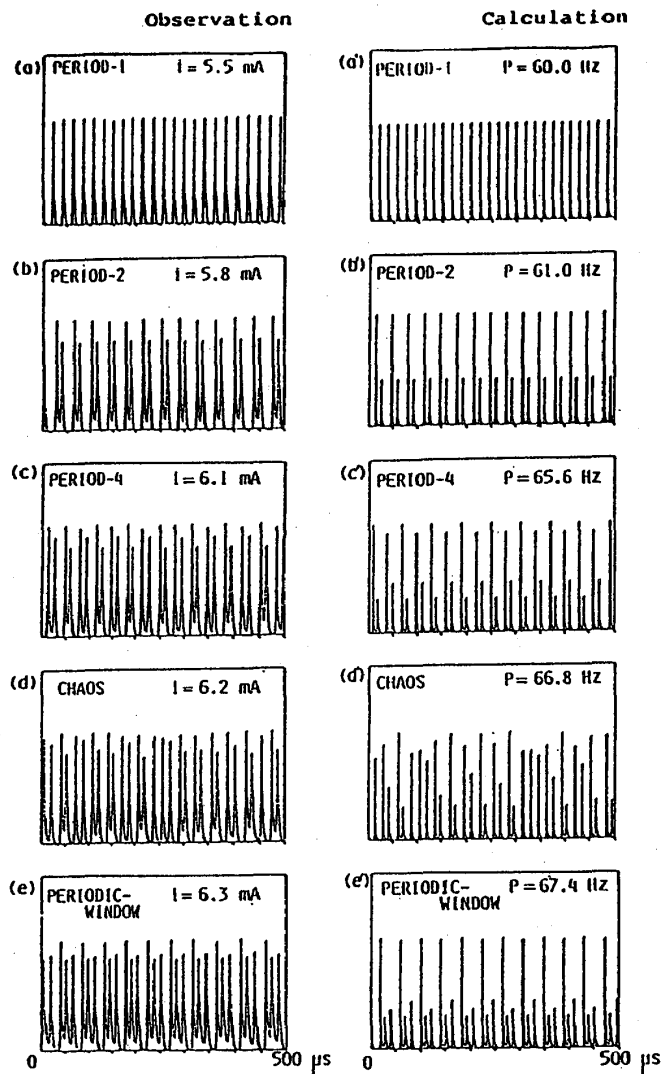


図3 放電電流の増加にともなって観測された周期倍加とカオスの時系列（左側）と計算による再現（右側）

で、その分布（図5下）はパラメーター空間におけるカオス領域の分布（図5上）の特徴をよく再現したものになっている。このようにカオスの領域が、吸収体の飽和効果という意味の明確な単一の指標によってほぼ指定されることは注目されるべき事実である。

最後に、カオスの付近で観測されるパルス波形の細かいパラメーター依存性とモデル計算との比較から、物性パラメーターを決定する試みについて述べる。図6の左側はレーザー共振器内の吸収ガス（蟻酸）にヘリウムガスを加えていったときに観測されるパルス波形の変化である。この変化は蟻酸にヘリウムが衝突して、蟻酸の回転緩和が速くなり飽和強度 f^* が変化することによって生じている。このため図6の右側のように、数値計算によって波形の変化を追っていくことにより、蟻酸とヘリウムの衝突断面積を求めることができる。ヘリウム以外の他の希ガスについても蟻酸との衝突断面積を求めたものが図7である。横軸にとったパラメーターとこの方法で得られた衝突断面積のあいだには、衝突の理論で予想されるように比例関係がみられ、この方法の有効性を示している。カオス近辺に

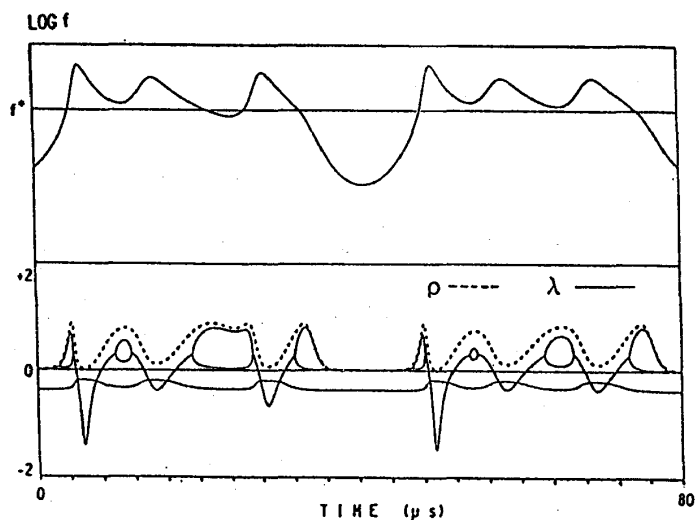


図4 カオスのときの光強度 f の変化（上段）と軌道の不安定性を表すヤコビ行列の固有値 λ （下段実線）及びその近似値 ρ （下段破線）の関係

が f^* （飽和強度）の付近で極大をとり、吸収体の飽和効果が軌道不安定性を引き起こすのに本質的であることが明らかになった。この最大固有値は図4下段の破線で示した

$$\rho \equiv \frac{\partial}{\partial (\log f)} \left[\frac{\dot{f}}{f} \right]$$

でほぼ近似できる。 ρ は吸収体の飽和効果による正のフィードバックを定量化したものである。 ρ の時間平均 $\langle \rho \rangle$ は解軌道の不安定性を指標化したもの

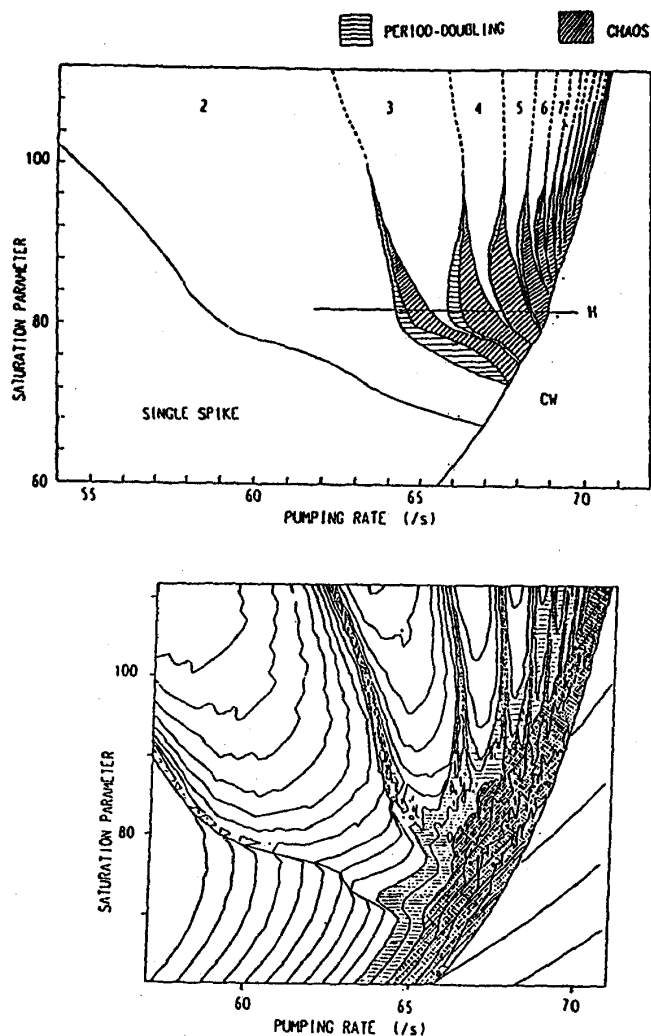


図5 パラメーター空間におけるカオス領域（上）と $\langle \rho \rangle$ の大きさの分布（下）

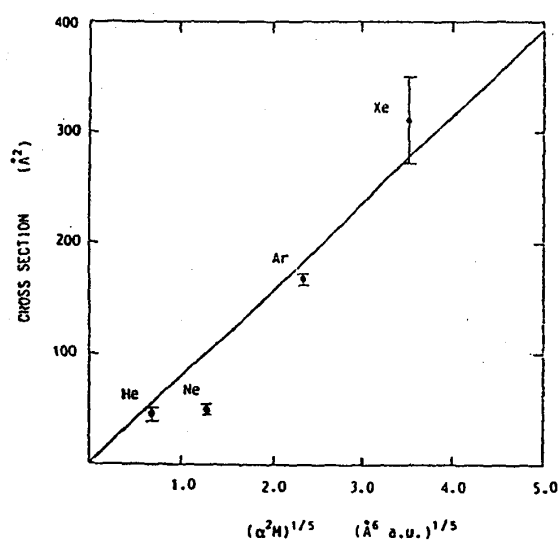


図7 4種類の希ガスに対して求めた蟻酸との衝突断面積の分子定数に対する依存性

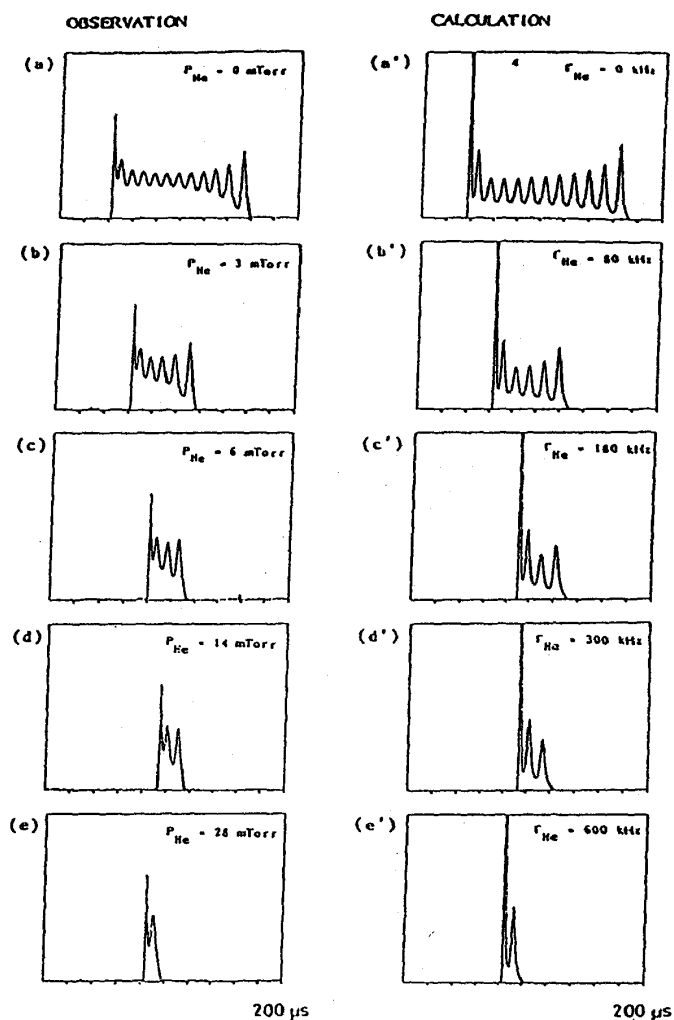


図6 吸収ガスにヘリウムを加えていった時のパルス波形の変化（左側）とモデルによる再現（右側）

おける多彩な系の振る舞いを充分利用できれば、さらに精度のよい、ときには複数のパラメーターの決定も可能となるであろう。

- ref. 1 E.Arimondo, F.Casagrande, L.Lugiato and P.Glorieux, Appl. Phys., B30 (1983) 57.
 2 M.Tachikawa, K.Tanii and T.Shimizu, J. Opt. Soc. Am., B5 (1988) 1077.
 3 M.Tachikawa, F.-L.Hong, K.Tanii and T.Shimizu, Phys. Rev. Lett., 60 (1988) 2266.