

## 第四章 フィードバックと振動

-フィードバックとは受容器と効果器、調整器で系を作る。リアルタイムなものである。

-その数学的な証明：ループに時間軸を与える事で振動となる。

-複数のフィードバックの系を重ねる事で安定度が増す

-線形な場合と非線形な場合のフィードバックについて

-情報（予測）を組み合わせたフィードバック

-恒常性を支えるフィードバック

### 2人の運動失調の患者の話（生物系での例）

一人目：手足など働く部分、効果器にある受容器からの情報がうまく伝達されないためちゃんと歩く事ができない。しかし、目や内耳の平衡器官は働いている。

二人目：小脳震盪による動作不全。小脳は自己受容感覚を調整する機能がある。この患者はそこの機能が働いてない。

一人目は受容器からの伝達の、二人目は調整する機能の問題。一人目はきれいな行動が描けず、二人目は行動が収束しない。ここの違いは？

動作部分からのフィードバック、自己受容性(proprioceptive)の重要性。動作部分とは別の場所にある感覚器からの情報だけではなく、動作部分の情報も混ぜて判断することが大切である。

### 機械系での例

信号塔では、信号手を送った指令に対して信号や転轍器の状態に関する情報や実際の動作を信号手が確認できるようになっている。

信号手→指令→信号、 転轍器が動作→自動表示器→信号手

この一連の伝達、動作、復帰の流れを Chain of feedback と呼ぶ。ただ、この場合は人間が復帰の出力を決める部分を占めている。

さらに人間が介入していない場合の例。

サーモスタット、蒸気機関のエンジンの制御の話。動作に対して抵抗する Feedback なので Negative Feedback と呼ぶ。例えば、上昇する傾向にあるものを上昇しない方向へ、下降する傾向にあるものを上昇させる方向へ作用させる。出力や位置 - 時間に対しての変位を押さえる。

フィードバックにたいしての反応には様々な方法がある。ウィナーは最も簡単とされる線形な系を例に数学記号を使って説明している。

時間による関数の入出力の関係。入力の関数  $F(t)$  にたいして出力の関数はそれぞれの時間差 ( $\tau$ ) を持って反応し、それらは個別に係数  $a$  によって調節されるその合計が最終的な出力となる。

例えば、手を動かす場合、手の動きはそれぞれの筋肉の動きの合計となる。

そして、それは過去に依存する物ではない。合計の形で表されるため、線形であり、どこから始まっても、関数の振る舞いは変わらない。

それは  $f'(t)$  を用いて極限で表される。(4.8) (この式の意味は??)

周波数についての関数 (Function of Frequency) の話。線形な系がループする範囲について述べている? Thickness とは? 安定する範囲の事?

数学的に Feedback を扱う事に関する問題について、制御の流れについて見ていく。

系の中で入力がモーターと乗算器 (調整する部分) の掛け合わせがまた入力として戻ってくる。乗数 (演算子) の範囲がそのループの振動を決める。増大して発散してしまう場合 (制御不能)、一方で範囲内だと安定する。式 (4.17) の話。

ループといえど、それは時間の軸をもって表される。

他の演算子とフィードバックの範囲についての例。

フィードバックを重ねることによってより広い範囲の周波数の範囲をカバーすることがきでる。

ジャイロスコープの例。単一のフィードバック（進行方向に関するフィードバック）で安定させられないので、船を安定させるフィードバックももちいることで安定させることができる。

複雑な加法系は単一のフィードバックでは安定するのが難しい。

随意的なフィードバック（目的に対して）と姿勢的なフィードバック（状態に対して）。ここで最初の患者の例の話と一致する。

強力な負性フィードバックに対して系が既に安定であるなら（飛行機の重さの例：重さが軽い飛行機は安定しにくい、重い飛行機は安定して飛べる？）

低周波数→安定度が増す？

高周波数→安定度が犠牲にされる？

加法系（線形）のフィードバックは正弦波に比例した形であらわすことができる。振動の振幅の値については影響しない。

一方、非線形のフィードバックはいくつかの振幅をもって振動し、それは厳密に周波数と関係する。パイプオルガンの例。この例は弛緩振動（Relaxation oscillation）または自励振動

の一つとして知られる。いくつかの系が緩く結合したもの??他の振動要因も巻き込んで振動している例?なので緩い?パイプオルガンの例では、全体の振動に対してパイプオルガン自体の振動のほかエネルギーの流入が関係している。もう一つ燃焼室の例。

Secularly Perturbed System（常にかく乱された系）について？

制御のフィードバックと補償系（予想に基づく補正の系）について

カモを狙って打つときにフィードバックする情報は現在の位置ではなく予想の位置であるということ。ここには予想に基づく補正が入っている。

現在の情報からのフィードバックでは系が成り立たない（失敗する）ことが多い。

### 情報のフィードバックによる制御

凍った道路の上を滑る車の例。凍った道路を走り始めた時点ではどれほど車が滑るか分からないのでハンドルをどれほど切っているか分からない。なので小刻みにハンドルを揺らすことによってすべる差を予測できる。

より機械系ならどうなるか？高周波数（揺らす事に相当する）を用いて効果器を通しその情報の一部を補償器の補償の参考とする？

フィードバックの原理の生理学への適応。

恒常性について。体内の様々な数値はある一定からさほど離れないように維持されている。恒常性のフィードバック。だんだんゆっくりした物になっていく事が特徴。