電磁石による振り子の振幅の減衰

勝呂駿　本山潤

要旨

本研究では、磁場が振り子の運動に与える影響を明らかにすることを目的として、振り子の減衰とコイルに流す電流の関係を調べた。振り子が磁場中を運動する際、電磁誘導によって運動が変化すると考えられる。そこで、コイルに流す電流の大きさを段階的に大きくし、振り子の振幅の減少の程度を測定した。その結果、コイルに流す電流が大きいほど振り子の減衰は大きくなることが分かった。また、電流の大きさと振り子の変化量の関係は二次関数の関係を示した。このことから、電磁石に流れる電流によって変化する磁場を強くすることで振り子の減衰が二次関数的に増加することが示唆された。

キーワード：振り子の減衰、電磁誘導、磁場

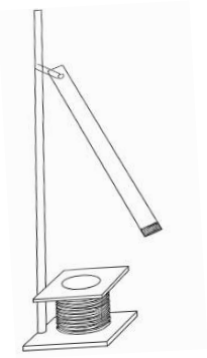
Ⅰ. はじめに

振り子の減衰運動と磁場の関係については、これまでに電磁誘導による制動効果に着目した研究が行われてきた。千葉（1978）では、磁場中を振り子運動するコイルに生じる誘導電流をオシロスコープで記録し、その振幅の時間変化を解析することで、固定された電磁石のよって作られる磁場の強さが増すほど誘導電流の減衰が速くなることが示されている。一方、これらの研究は主として誘導電流そのものの時間変化や理論的解析に重点が置かれており、振り子の運動の減衰と外部から制御可能な量との定量的な関係については、必ずしも簡潔に示されていない。特に、電流という操作しやすい物理量と振り子の減衰量との関係を、直接的に比較した例は少ない。

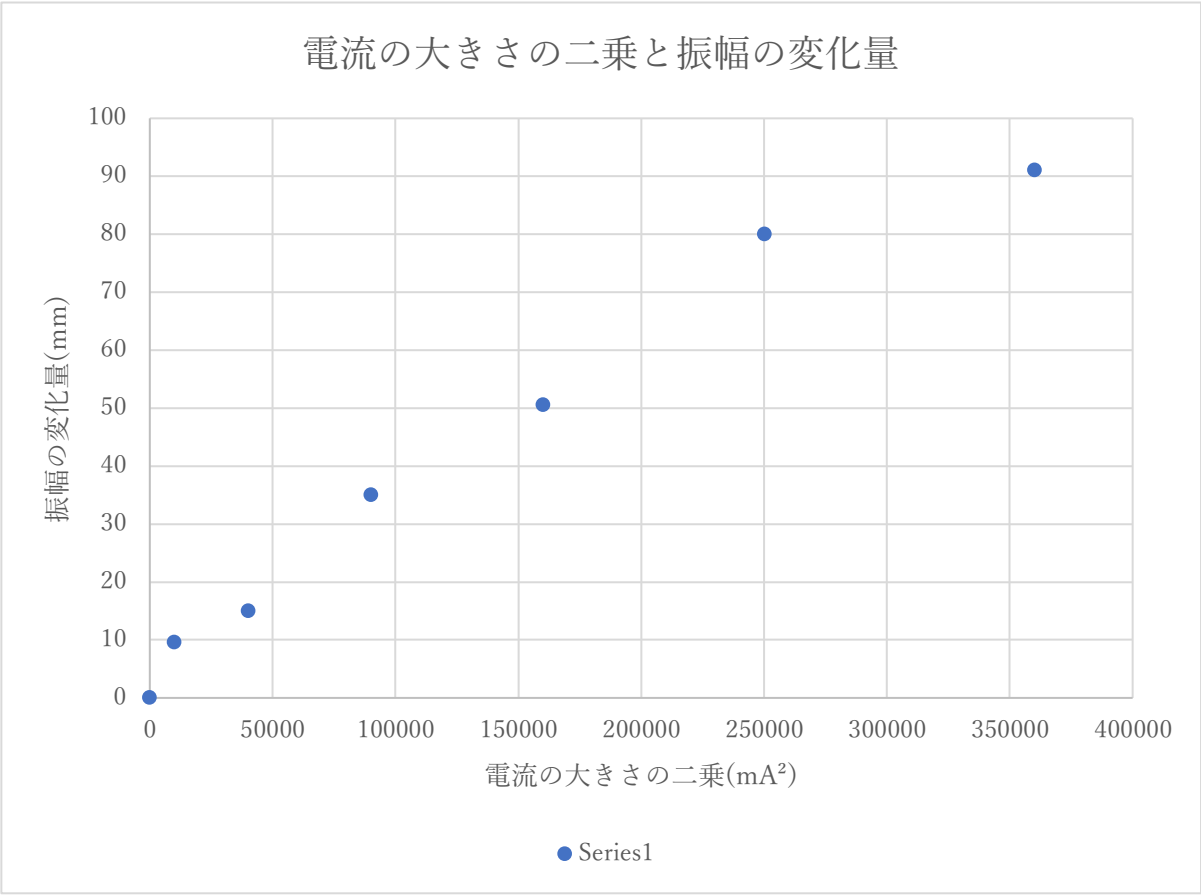
本研究では、コイルに流す電流の大きさを変えることで磁場の強さを変化させ、そのときの振り子の減衰の程度を測定し、両者の関係を明らかにすることを目的とした。これにより、磁場による減衰効果を電流という具体的な量で表現できると考えられる。

Ⅱ. 手法

本研究では、磁場が振り子の減衰に与える影響を調べるため、振り子がコイルの上方を通過する構造の実験装置を用いた。振り子は支点から定規を吊り下げ、下端に磁石を取り付けた。支点と定規は円滑に回転できるようにした。振り子が静止位置を通過する際、直下に設置した 100 回巻きコイルの磁場の影響を受けるように配置した。装置全体は机上に固定し、振り子の運動面が鉛直になるよう調整した。コイルには外部電源を接続し、流れる電流の大きさを 0mA から 600mA まで変化させ、各電流で 10 回記録した。電流の値は振り子の運動中は一定に保ち、各条件において同一の初期条件で振り子を運動させた。具体的には、振り子を 30 度まで引き上げ、初速度を与えないように静かに手を離した。振り子の運動の記録にはスマートフォンを用い。振り子の振動方向に対して正面から撮影を行った。撮影時には、振り子の裏に A4 の 5mm方眼紙を固定し、映像から振幅を読み取れるようにした。得られた動画を再生し、時間ごとの振幅を読み取ることで、振幅の減少の様子を測定した。この測定をコイルに流す電流の大きさを変えて複数回行い、それぞれについて振り子の減衰量を求めた。これらの結果をもとに、電流の大きさと振り子の減衰量の関係を解析した。



III. 結果



各条件での振り子の変化量

電流の大きさ(mA)	5 回の測定値の平均値	標準偏差(mm)
0	0	0
100	9.5	1.0
200	15.0	1.58
300	35.0	1.58
400	50.5	1.0
500	80.0	1.58
600	91.0	2.0

図は振り子の 1 周期あたりの減衰量 ΔX とコイルに流した電流の関係を示したもので、ΔX は、初期条件の振幅と 1 周期後の振幅をそれぞれ X_1、X_2 として

$$\Delta X=X_1-X_2$$

とした。図から、流す電流と ΔX には正の相関が見られる。

IV. 考察

本研究では、コイルに流す電流の大きさと振り子の 1 周期あたりの減衰量との関係を調べた。その結果、電流が大きくなるにつれて減衰量が増加し、両者の間には正の相関が見られた。この傾向は、千葉（1978）で報告されている電磁誘導による磁気制動の結果と一致している。先行研究では、磁場中を運動するコイルに誘導電流が生じ、その誘導電流が作る磁場が運動を妨げる向きに働くことが示されている。本研究においても、振り子が電磁石上を通過する際、電流の強さによって電磁石の磁束が変化することで誘導電流が生じ、その結果として振り子の運動エネルギーが失われたと考えられる。コイルに流す電流が大きいほど磁場が強くなるため、誘導電流も大きくなり、振り子に働く制動力が増加したと解釈できる。また、振り子の 1 周期あたりの変化量を電流の二乗に対してプロットすると、ほぼ比例の関係が得られた。一方、低電流領域では減衰量の増加が小さく、100 mA と 200 mA において同程度の値が得られた。これは、スマートフォンによる撮影と方眼紙を用いた読み取りをした為に起こる人為的な読み取り誤差の影響によるものと考えられる。また、振り子が受ける空気抵抗などの影響が、低電流領域では相対的に大きくなった可能性もある。さらに、高電流領域では減衰量の増加がやや大きくなる傾向が見られた。これは磁場が強くなることで、振り子の運動が 1 周期の途中でも強く抑制され、単純な比例関係からわずかに外れた可能性を示唆している。この点については、より細かい電流間隔で測定を行うことで、関係の詳細を明らかにできると考えられる。
以上より、本研究の結果は、千葉（1978）で示された電磁誘導による減衰機構を、電流という操作しやすい物理量を用いて定量的に確認したものといえる。

V. 結論

本研究では、磁場が振り子の減衰に与える影響を調べることを目的として、コイルに流す電流と振り子の減衰の関係を測定した。その結果、コイルに流す電流が大きいほど、振り子の 1 周期あたりの変化量が大きくなることが確認された。また、電磁石に流す電流の二乗と振り子の振幅の変化量は比例の関係にあることがグラフから読み取れる。したがって、電流と振幅の変化量の関係はおおむね二次関数で表され、電流の強さが振り子の減衰に影響することが示された。以上より、電磁誘導による磁気制動が振り子の減衰の主な要因であることが明らかになった。

謝辞

本研究を行うにあたり、実験の実施や研究の進め方についてご指導・ご助言をいただいた先生方に深く感謝いたします。

文　献

千葉芳明（1978）:電磁作用による振り子の減衰振動と共振