

工学博士 林千博君の「非線形振動の研究」に対する授賞審査要旨

一、概 要

非線形振動現象は、機器系に対する危害突発の主要原因の一つとして、電気工学機械工学等、広い工学分野における重要な研究課題である。また最近この現象を転用することによる分数周波発生その他種々の応用面が開発せられ、その研究の必要性は益々高められるに至った。然るに研究手段が解析、実験の何れによるも難解に属する上に、同一の系においても、振動発生初期条件によりて、その様相が著しく変わってくるという複雑なる現象なるがゆえに、未だ充分本性が明らかにせられるに至っていないかった。

この課題の研究は漸く一九三〇年頃から各国で始められ、そのうちソ連においてやや成果の見るべきものがあつたが、それも多くは容易に取扱ひ得る対象につき、個々断片的に論ぜられたに過ぎなかつた。林千博君も、それと前後して研究を開始し、爾来三十年間一筋に没頭しつづけているが、その研究範囲を大別すれば、(一)この現象に対する各種解析法、(二)定常状態における強制振動、(三)過渡状態における強制振動の三分野に亘り、各部何れも解析と実験の両面から精細に検討し、起り得べきあらゆる振動様相を説明して分類し、その何れの振動が如何なる条件下において発生するか、等々、系統的に全貌を明らかにしている。従つてその成果は、危害としてのこの現象の防止にも、或いは活用せんとする場合の利用にも、対策の根基として役立つであらう。

林君の研究の集積と見られる別記英文二著書の内容が、その広さと深さにおいて他に類例を見ず、現在、内外を通

じ斯界必読の書として高く評価せられていることは、英文原本が、すでにソ連、フランス、ポーランド三カ国で翻訳せられ、それらに対する海外専門諸家の書評により立証せられつつあるところである。

二、研究内容

前記のごとく、林君の非線形振動に関する研究では、先ず各種の解析的解法並に図式解法を、非線形現象の解明に應用する場合の適用範囲、及び得られた結果の精度に関して検討を加え、続いて従来の諸方法を総合一般化して、その應用範囲を拡大した。例えば林君の提案した非線形強制振動に対する位相面解析法は、過渡現象を究明する有力な手段の一つとして認められている。かくて、これまで明らかにすることのできないまま残されていた多くの分野が、林君によりて初めて解明せられるに至ったもの少なからず、それらのうち、特に注目すべきは、振動の安定条件に関する論述と、過渡状態の獨創的解明、及びそのための手段として林君が創案した計算機の活用にあると考えられる。

安定問題に対する解説は、従来線形の系に対する方法をそのまま転用したものが多かったのであるが、非線形の系では、線形の場合の如き系に固有の振動周波数が存在せず、発生周波数は、その動作状態、外力の大きさ等により複雑に変化するものであるから、線形の場合の安定判別法をそのまま適用すれば、往々にして間違つた結果を得ることがある。林君の導いた安定条件は、非線形そのものの特性を充分考慮した一般的なものであって、基本ハーモニックス、高次ハーモニックス、及び分数次ハーモニックス等、すべての振動に対する安定問題を具体的に解決することができる。

非線形振動の過渡状態に対する研究は従来全く手のつけられていなかった分野である。この種の振動は、常時には

現れなくとも、何かの衝撃によって突発的に起ることが多く、従って予測しがたい危険なものであるに拘らず、その発生条件は殆ど明らかにされていなかった。それを解決するには、定常状態の振動だけを考察するのでは、不十分であつて、与えられた初期条件に応じて発生する振動が、どの様な過程を経て、如何なる定常状態に到着するかを究明することに、より、振動発生機構を把握しなければならぬ。そのための手段として林君は先に図解法たる、位相面解析法（位相空間解析法）を提案した。この方法はその当時では過渡状態を研究する唯一の手段として注目せられ、今もなお多くの研究者によって採用されつつあるが、これには一、二の欠点があり、例えば初期値の如何により多数の異なる振動が発生するような場合、それら総てを究明することができない。

よつて、林君は新たな方法として更にマッピング (mapping) 法を提案した。この方法は振動方程式の変数の状態をあらわす点の、外力の一周期毎の移動に着目したものであつて、二階の方程式の場合には、変数とその時間微分とを坐標とする平面上の点の移動を考えることになる。この方法の適用範囲は極めて広く、その解も正確であり、またあらゆる初期条件に応じて起り得る総ての振動を究明することができ、なお更に従来困難とされていた非線形方程式の定常状態における解の探索にも適用することが出来る。林君はこれら諸目的の達成を容易ならしめるための電子計算機を開発した。この計算機は振動状態を表わす点の、外力の一周期毎の移動即ち変換を連続して行なうことができるので、各変換値は瞬時的に読取装置に記憶せられ、解指示器に記録される。初期値の値如何によりては数多くの複雑な振動が存在するが、そのような場合にも、これら総てが記録紙上に自動的に描かれる。例えば振動が変数の二階微分方程式で表わされる場合、 x および \dot{x} の初期値が、 x_0 、 \dot{x}_0 、 y_0 なる点を P_0 とし、外力の一周期経過

した後、 P_0 が P_1 に移ったとする。この操作を P_0 を一回変換すると P_1 になると称する。もし P_1 が P_0 と同じ位置にあれば、 P_1 を更にもう一回変換した P_2 もまた P_0 と重なる。このように変換を繰返しても位置の変らない点を不動点と称する。不動点は振動の振幅及び位相が一定となった定常状態を表わす。鉄共振現象にこの方法を適用すれば、振動を表わす三個の不動点が得られる。その内二つは安定であるが、一つは不安定である。すなわち初期値の如何によって二つの安定な不動点の何れかに相当する振動が発生する。なお不安定な不動点はこの二つの安定な不動点に到達する夫々の初期値領域の境界線上にあり、この境界線もこの計算機によって容易に求めることができる。

この方法の優れている点は、外力と同じ周波数の基本ハーモニックだけの場合に限らず、複雑な振動、例えば高次ハーモニックス、分数次ハーモニックスなどの多数の振動が存在する場合にも、各々の解が容易に求められ得るところにある。例えば外力の $\frac{1}{2}$ 周波数の振動の存在する場合にも、それに対応する不動点が計算機によりて、基本ハーモニックの場合と同様にして求められる。

林君によりて提案せられたマップニング法は前述の如く非線形振動の発生時より定常状態に至る全過程を通じて完全な解明を与え、また周波数の異なる数十個の振動が発生する場合にも、総ての振動を予測し得るばかりでなく、併せてそれらの発生条件を個々具体的に求めることができる。

林君はまた実験をもつて非線形振動の全般の様相を系統的に分類観察した。実験には電気回路を使用し、非線形要素としては、可飽和鉄心を有するリアクトル・真空管・半導体素子等を用いた。なお過渡状態の研究では、初期値を正確に規定する必要があるから、精密な電子回路を使用した。その結果複雑な非線形振動の過渡状態を正確に繰返し

再現することに成功した。この種の振動は従来電力系統において、力率改善のために進相用蓄電氣器を併用する場合に発生する異常現象としても知られていたものであるが、林君の研究により、これら異常振動の性質、及びその発生機構が明らかにせられ、従つてこれら振動を防止する方法も考案されるに至つた。

三、結 言

非線形振動は突発的に発生すること多く、その危害対策に留意しなければならぬこと、またこのような現象も適当に転用すれば有効な利用法となり得ることは、既に或る程度知られているところであつた。ただ研究手段の至難なるにより、振動様相並びに発生条件（主として初期条件）等が精細かつ系統的に明らかにされていなかつたため、防止、利用両面共に適切な対策を立てることが容易でなかつた。

三十年に亘る研究の結果、この現象の全貌を明らかにした林君の業績は、ただに學術上裨益するところ大なるのみならず、また前述の如き応用方面にも有効な指針を与うるものといふことができる。その研究範囲は極めて広く、かつ各分野において、新たに知見を加うるもの甚だ多く、なかならず過渡現象に関する林君の創意にかかるマッピング解析法は、この種課題の解明に適切なる研究手段を開発したものといふべく、欧米の諸研究者に高く評価せられている。また実験によつて得た初期条件と振動様相との關係を、驚くべきほど克明に点示して作り上げたグラフ等は斯界に寄与するところ大なるものあり、林君の非線形振動の研究は學術上貢獻するところ少なからざるものと認む。

主要な著書及び論文目録

著 書

- 1) Forced Oscillations in Nonlinear Systems. 日本電機学会誌 1953.
- 2) Nonlinear Oscillations in Physical Systems. McGraw-Hill Book Company, 1964.
論文
- 3) 変圧器回路の低周波電気振動に関する研究 (兵衛大幹博士論文) • 電氣工学 29, 599-608, 670-677, 732-740 (1941); 30, 418-425, 479-495, 551-560, 597-609 (1942).
- 4) 非線形振動の研究 (京都大学理学部提出卒業論文) 工学 Journal of Applied Physics (論文番号五二一七) 及び
①大要発表表
- 5) Forced Oscillations with Nonlinear Restoring Force. J. Appl. Phys., 24, 198-207 (1953).
- 6) Stability Investigation of the Nonlinear Periodic Oscillations. J. Appl. Phys., 24, 344-348 (1952).
- 7) Subharmonic Oscillations in Nonlinear Systems. J. Appl. Phys., 24, 521-529 (1953).
- 8) Initial Conditions for Certain Types of Nonlinear Oscillations. Symp. Nonlinear Circuit Analysis. vol. 6, 63-92, Polytechnic Institute of Brooklyn, New York (1956).
- 9) Subharmonic Oscillations of Order One-half. Trans. IRE Circuit Theory, CT-7, 102-111 (1960).
- 10) Frequency Entrainment in a Self-oscillatory System with External Force. Trans. IRE Circuit Theory, CT-7, 413-422 (1960).
- 11) Quasi-periodic Oscillations in Nonlinear Control Systems. Autom. Remote Control (First Intern. Congr. IFAC), vol. 2, 889-894, Butterworth Scientific Publications, London (1961).
- 12) Initial Conditions Leading to Different Types of Periodic Solutions for Duffing's Equation. Symp. Nonlinear Oscillations (Intern. Union Theoret. Appl. Mech.), Kiev (1961).
- 13) Quasi-periodic Oscillations in a Self-oscillatory System with External Force. Symp. Nonlinear Oscillations (Intern. Union Theoret. Appl. Mech.), Kiev (1961).
- 14) Higher Harmonic Oscillations in Nonlinear Forced Systems. Col. Intern. C.N.R.S., No. 148, 267-285,

Marseilles (1964).

15) The Influence of Hysteresis on Nonlinear Resonance. J. Franklin Inst., 281, 379-386 (1966).

16) Solution of Duffing's Equation Using Mapping Concepts. Fourth Conference on Nonlinear Oscillations, Prague (1967).