

理学博士古在由秀君の「土星衛星、人工衛星及び小惑星の 運動の研究」に対する授賞審査要旨

古在由秀君は現在世界における人工衛星の運動の研究の権威であって更に軌道傾斜の大きな小惑星衛星の研究の第一人者でもある。

最初古在君は土星の各衛星の運動をマトリクス積分法で研究し、最近の観測を含めて衛星の軌道要素と質量の新しい値を算出して天体暦の計算に重要な寄与をした。衛星 Mimas の永年加速を発見してその運動から土星環の質量を求めた。

人工衛星の世界中の観測を整理するためスミソニアン天文台に招かれて多数の人工衛星の軌道要素を計算し、月と太陽の摂動のもとで太陽輻射圧をも顧慮した上、地球の重力ポテンシャルの球対称からのずれを摂動として取り入れて解析した。それにより地球の重力ポテンシャルの球関数展開の係数を二〇数次まで決定した。この割期的成果は世界に広まり、或いは数カ国に特別講演に招待され、或いは国際天文学連合や宇宙空間研究特別委員会、国際測地学地球物理学連合において重要な地位を占めるに至った。現在人工衛星の世界中の観測は古在君の方法に従って整理算出されている。

更に古在君は人工衛星の運動に基づいて重力ポテンシャルの時間的変動を論じ、地球潮汐を分離し、ラブ数 k_2 を誘

出して地球の剛性を出し、さきの球関数による展開の係数の時間的変動を研究した。

古在君は木星軌道面と大きな傾斜をもつ小惑星の運動をはじめて研究し、ポアンカレの第三種の周期解を現実に数值計算してその存在を確認し、その軌道間の連繫を論じた。諸惑星の永年摂動の高次の安定に関する理論を傾斜軌道に拡張してその安定を証し、小惑星の軌道の安定を論じて小惑星は木星にはあまり接近し得ないことを示した。軌道の長半径と傾斜角との関係を求めて小惑星の族の分類を行い、族の成因の力学的究明を試みた。

この内容をやや詳しく述べると、

(一) 小惑星の永年摂動

摂動関数中に小惑星軌道の離心率、傾斜の四乗と木星土星の質量の二乗を含めて永年摂動を論じ(一九五四)、ついで軌道を円とした木星だけの摂動による小惑星の永年摂動を調べ、遠日点距離が大きなものでも近日点引数が土(プラス・マイナス)九十度の時に最も離心率が大なるので、木星にはあまり近づかずまた近日点引数が九〇度のまわりを移動する小惑星もあって、木星との接近が妨げられることを知った(一九六二d)、円軌道で木星軌道面を動いていることを仮定した土星を含めてこの理論を拡張し、近日点引数が〇の時の木星軌道への傾斜角をI、軌道離心率をeとして $\sqrt{1-e^2} \cos I$ と軌道長半径とによって小惑星の族の分類を行った(一九七八d)。

(二) 土星の衛星の運動

土星衛星 Enceladus と Dione の運動を衛星の質量の二乗まで考えて拡張し、また内側の衛星について土星の扁率の二乗、衛星軌道の離心率、軌道傾斜を含めて永年摂動を求めた(一九五五a、b)。アメリカ海軍天文台の一九

二七—四七の土星衛星の観測を整約し、且つそれ以前の観測をも含めて、上記の永年摂動を応用して衛星の質量、土星の赤道面の位置とその扁率等を求めた（一九五六a、一九五七b、一九五七c）。その結果 Mimas の平均経度に永年加速を発見し（一九五六b）、環の質量をその運動によって決めた（一九五七a）。

最近太陽による摂動の式を再検討し、上記の諸量の再決定を行った（一九七六a）。これは土星衛星の位置を与える暦の計算の基本になるものである。

(三) 人工衛星の運動理論

地球が軸対称の重力ポテンシャルをもつとした場合に人工衛星の運動を、二次の永年摂動をも含めて、一次の周期摂動まで求めた（一九五九f）。ついで更に一次進めた理論を発表した（一九六二c）。軌道離心率の小さな場合には便利な式をも与えた（一九六一a）。

月、太陽の摂動と実例を示し（一九五九e、一九五九b）、その摂動がなければ二〇年の寿命をもつ衛星も二年の寿命になりうることを精度を高めて計算した（一九六六d、一九七三d）、また歳差・章動により赤道面が動くための影響（一九六〇a）、太陽輻射圧の影響（一九六一c、一九七三b）、更に月のまわりの孫衛星の運動（一九六三d）も調べた。この方面の総合報告（一九六三c、一九七五a、一九七五b、一九七五c、一九七八b）をも発表している。

(四) 人工衛星から重力ポテンシャルの決定

人工衛星の運動にあらわれる永年摂動や長周期摂動を観測から検出し、これから地球の重力ポテンシャルを先ず帯

関数 zonal harmonics で展開した時の係数を求めた (一九五九 d、一九六一 e、一九六一 g、一九六二 b、一九六三 a、一九六四、一九六六 a、一九六六 e、一九六九 b、一九七四 c、一九七八 e)。種々の人工衛星の観測データは次数の高い係数をも考えに入れたいと説明がつかないので、二五次までを求めた。また軸対称を仮定せず緯度、経度両方によるゼオイドの凹凸をも一般の球関数への展開を数値的に算出した (一九六一 f)。北極で一六 m 高く南極で二七 m 低くなっていることが知られた。

(四) 重力ポテンシャルの時間的変動

重力ポテンシャルの時間的変動が人工衛星の軌道の変動から求められる。先ず地球潮汐によるポテンシャルの変動の影響を三個の衛星について求め、ラバ数 k として $0 \cdot 29$ 、潮汐のおくれの時間として 20 分という値を出した (一九六五、一九六七 a、一九六八)。また地球潮汐と海洋潮汐との分離、展開の係数の値の季節変化の検出はまだ成功に至らない (一九六九 a、一九七〇、一九七一、一九七六 b)。

(五) 制限三体問題の第三種周期解

軌道面が傾斜している制限三体問題で第三体の平均運動がはじめ二体の $(p+q)/p$, $(q=1, \dots, 4; p=1, \dots, 5)$, 倍のものについては、永年摂動も長周期摂動も現われない、即ち、昇交点も近日点も固定して臨界角の移動の振幅が 0 であるための条件を、木星と太陽との質量比が $1/1000$ の場合について解析的に探した。この軌道要素から出発し、数値積分でポアンカレの第三種周期解を発見し、更に質量比を大にして 1000 までの数個の場合についても解を見出した。この比が $1/1000$ の場合が小惑星に当り、 1000 の場合は木星のまわりの衛星の場合に相当する。更にこ

れら軌道の安定性について数値的に論じた(一九六九c、一九六九d、一九七三a)。

(七) レーザ測距儀の開発

人工衛星追跡用のカメラを利用してレーザ光を使って人工衛星までの距離を測定する装置を開発した(一九七三e、一九七七)。更に月面におかれたレーザ光逆反射器までの距離の測定は岡山天体物理観測所の一八八cm反射鏡で先ず予備実験を行い(一九七二a、b)、ついで堂平観測所に装置一式を用意し、現在調整中である。この観測によって、地球自転周期の変動と極運動が今までの方法でするよりも一層高い精度で求められることが期待される。

一、主要な著書及び論文目録

Yoshihide KOZAI

- 1951 Preliminary studies on the motion of asteroid Thule (279). Publ. Astron. Soc. Japan, vol. 3, pp. 184-194.
- 1953 Preliminary studies on the motion of asteroid Thule (279), II. Publ. Astron. Soc. Japan, vol. 4, pp. 172-179.
- 1954 On the secular perturbations of asteroids. Publ. Astron. Soc. Japan, vol. 6, pp. 41-66.
- 1955a A note on the motion of Saturn's satellites—Enceladus and Dione. Proc. Japan Academy, vol. 31, pp. 341-345.
- 1955b On the motion of the inner satellites of Saturn. Publ. Astron. Soc. Japan, vol. 7, pp. 176-189.
- 1955c Photo-electric occultation observations (with H. Hirose, K. Tomita, R. Manabe, M. Uchida, S. Kaho and T. Takenouchi). Tokyo Astron. Bull. (2), No. 111.

- 1956a Five inner satellites of Saturn, 1938-1947. *Annals of Tokyo Astron. Obs.*, (2) vol. 4, pp. 191-284.
- 1956b Note on the mean longitude of Mimas. *Publ. Astron. Soc. Japan*, vol. 8, pp. 91-93.
- 1957a On the effect of the Saturnian ring upon the motion of the satellites. *Publ. Astron. Soc. Japan*, vol. 9, pp. 1-6.
- 1957b On the astronomical constants of Saturnian satellite system. *Annals of Tokyo Astron. Obs.*, (2) vol. 5, pp. 73-106.
- 1957c Titan and Rhea, Saturnian satellites, 1927-1947. *Annals of Tokyo Astron. Obs.*, (2) vol. 5, pp. 107-127.
- 1958 On the motion of a certain close satellite. *Publ. Astron. Soc. Japan*, vol. 10, pp. 40-47.
- 1959a Anticipated orbital perturbations of satellite 1959 Delta 2 (with C. A. Whitney). *Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep.*, No. 30, pp. 1-8.
- 1959b Note on the motion of a close earth satellite. *Publ. Astron. Soc. Japan*, vol. 11, pp. 121-123.
- 1959c Note on the secular motions of the node and perigee of an artificial satellite. *Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep.*, No. 30, pp. 14-15.
- 1959d The earth's gravitational potential derived from the motion of satellite 1958 Beta 2. *Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep.*, No. 22, pp. 1-6.
- 1959e On the effects of the sun and the moon upon the motion of a close earth satellite. *Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep.*, No. 22, pp. 7-10.
- 1959f The motion of a close earth satellite. *Astron. Journ.*, vol. 64, pp. 367-377.
- 1960a Effect of precession and nutation on the orbital elements of a close earth satellite. *Astron. Journ.*, vol. 65, pp. 621-623.

- 1960b Orbital elements for July and August, 1959. Satellite 1958 Delta 2. Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep., No. 40, pp. 8-17.
- 1960c Osculating elements. Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep., No. 31, p. 8.
- 1960d Orbital elements for the period September 1959 through April 1960. Satellite Delta 2, satellite 1959 Iota 2. Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep., No. 51, pp. 11-16.
- 1961a Comments on the use of osculating ellipse in analysis of near circular orbits. Journ. Amer. Rocket Soc., vol. 31, p. 676.
- 1961b Motion of a particle with a critical inclination in a gravity field of a spheroid. Smithsonian Contr. Astrophys., vol. 5, pp. 53-58.
- 1961c Effects of solar radiation pressure on the motion of an artificial satellite. Smithsonian Contr. Astrophys. Obs. Spec. Rep., No. 56, pp. 25-33.
- 1961d Note on the motion of a close satellite with a small eccentricity. Astron. Journ., vol. 66, pp. 132-133.
- 1961e Potential field of the earth derived from motions of artificial satellites. In *Proceedings of the Symposium of Geodesy in the Space Age*, ed. by S. H. Laurila and W. A. Heiskanen, pp. 174-176, Ohio State University.
- 1961f Tesseral harmonics of the gravitational potential of the earth as derived from satellite motions. Astron. Journ., vol. 66, pp. 355-358.
- 1961g The gravitational field of the earth derived from motions of three satellites. Astron. Journ., vol. 66, pp. 8-10.
- 1962a Mean values of cosine functions in an elliptic motion. Astron. Journ. vol. 67, pp. 311-312.
- 1962b Numerical results from orbits. Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep., No. 101, pp. 1-21.

- 1962c Second-order solution of artificial satellite theory without air drag. *Astron. Journ.*, vol. 67, pp. 446-461.
- 1962d Secular perturbations of asteroids with high inclination and eccentricity. *Astron. Journ.*, vol. 67, pp. 591-598.
- 1963a Numerical results on the gravitational potential of the earth. In *The Use of Artificial Satellites for Geodesy*, ed. by G. Veis, North-Holland Publ. Co., Amsterdam, pp. 305-315.
- 1963b Potential of the earth derived from satellite motions. In *Dynamics of Satellites*, ed. by M. Roy, Spring-Verlag, Berlin, pp. 65-73.
- 1963c Motions of artificial satellites (in Russian). In *Problem of Celestial Mechanics*, Academy of Sciences, USSR, pp. 107-118.
- 1963d Motion of a lunar orbiter. *Publ. Astron. Soc. Japan*, vol. 15, pp. 301-312.
- 1964 New determination of zonal harmonics coefficients of the earth's gravitational potential. *Publ. Astron. Soc. Japan*, vol. 16, pp. 263-284, also in *Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep.*, No. 165, pp. 1-38.
- 1965 Effects of the tidal deformation of the earth on the motion of close earth satellites. *Publ. Astron. Soc. Japan*, vol. 17, pp. 395-402.
- 1966a The earth gravitational potential derived from satellite motion. *Space Science Reviews*, vol. 5, pp. 818-879.
- 1966b Long-range analysis of satellite observations. In *Trajectories of Artificial Celestial Bodies*, ed. by J. Kovalevsky, Springer-Verlag, Berlin, pp. 44-52.
- 1966c Note on expressions for second-order short-periodic perturbations. *Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep.*, No. 234.

- 1966d Luni-solar perturbations with short periods. *Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep.*, No. 235.
- 1966e The zonal harmonic coefficients. In *Geodetic Parameters for 1966 Smithsonian Institution Standard Earth*, ed. by C. A. Lundquist and G. Veis, Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep., No. 200, vol. 2, pp. 67-200.
- 1967a Determination of Love's number from satellite observations. *Philosophical Trans. Royal Soc. London, A*, vol. 262, pp. 135-136.
- 1967b Summary of numerical results derived from satellite observations. In *The Use of Artificial Satellites for Geodesy*, ed. by G. Veis, Athens, pp. 149-160.
- 1968 Love's number of the earth derived from satellite observations. *Publ. Astron. Soc. Japan*, vol. 20, pp. 24-26, also in *Bull. Geod.*, No. 89, pp. 355-357.
- 1969a Long-range variations of orbits with arbitrary inclination and eccentricity. In *Vistas in Astronomy II*, ed. by A. Beer, Pergamon Press, Oxford, pp. 103-118.
- 1969b Revised values for coefficients of zonal spherical harmonics in the geopotential. *Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep.*, No. 295, also In *Dynamics of Satellites*, ed. by B. Morando, Springer-Verlag, Berlin, pp. 104-108.
- 1969c Periodic solutions of the third sort for the restricted problem of three bodies. *Proc. Japan Academy*, vol. 45, pp. 394-398.
- 1969d Stationary and periodic solutions for restricted problem of three bodies in three-dimensional space. *Publ. Astron. Soc. Japan*, vol. 21, pp. 267-287, also In *Periodic Orbits, Stability and Resonance*, ed. by G. E. O. Giacaglia, Reidel Publ. Co., Holland, pp. 451-468.
- 1970 Seasonal variations of the geopotential. *Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep.*, No. 312, pp. 1-6.

- 1971 Temporal variations of the geopotential derived from satellite observations. Space Research XI, Akademie-Verlag, Berlin, pp. 469-477.
- 1972a Lunar laser ranging experiments in Japan. Space Research XII, Akademie-Verlag, Berlin, pp. 211-217.
- 1972b A preliminary system of lunar laser ranging (with A. Tachibana). Space Research XII, Berlin, pp. 187-195.
- 1973a Periodic solutions of the third sort for restricted problem of three bodies and their stability (with H. Kinoshita). Celestial Mechanics, vol. 7, pp. 156-176.
- 1973b Effects of motion of the equatorial plane on the orbital elements of an earth satellite (with H. Kinoshita). Celestial Mechanics, vol. 7, pp. 356-366.
- 1973c Delaunay's variables referred to a moving plane. Publ. Astron. Soc. Japan, vol. 25, pp. 393-395.
- 1973d A new method to compute lunisolar perturbations in satellite motions. Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep., No. 349, pp. 1-27.
- 1973e Satellite laser ranging instruments operated at Tokyo Astronomical Observatory (with A. Tsuchiya, K. Tomita, T. Kanda, H. Sato, N. Kobayashi and Y. Torii). Tokyo Astron. Bull. (2), No. 223, pp. 2597-2605.
- 1973f Comparison of Papeos observations made by AFU-75 and Baker-Nunn camera at Dodaira station. Tokyo Astron. Bull. (2), No. 225, pp. 2613-2622.
- 1974a The Stability of the Solar System and of Small Stellar Systems. Reidel Publ. Co. (edited by Y. Kozai).
- 1974b Secular perturbations of asteroids belonging to families (with M. Yuasa). In *The Stability of*

the Solar System and of Small Stellar Systems, Reidel Publ. Co., Holland, pp. 81-82.

1974c Determination of the geopotential (with E. M. Gaposchkin). In *1973 Smithsonian Standard Earth III*, Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep., No. 353, pp. 229-261.

1974d Parameters of earth spheroid derived from vertical deviations in Japan (with H. Hirose). Journ. Geod. Soc. Japan, vol. 20, pp. 42-44.

1975a Analytical orbital theories for satellites. In *The Use of Artificial Satellites for Geodesy and Geodynamics*, ed. by G. Veis, Athens, pp. 237-242.

1975b Hybrid systems for use in the dynamics of artificial satellites. In *On Reference Coordinate Systems for Earth Dynamics*, Warsaw, pp. 235-240.

1975c Analytical theories of the motion of artificial satellites (with G. Hori). In *Satellite Dynamics*, ed. by G. E. O. Giacaglia, Springer-Verlag, Berlin, pp. 1-15.

1976a Masses of satellites and oblateness parameters of Saturn. Publ. Astron. Soc. Japan, vol. 28, pp. 675-691.

1976b Analysis of laser ranging observations of satellites. Bull. AES Observations, No. 15.

1977 Improvements of the Dodaira satellite laser tracker (with A. Tsuchiya, K. Tomita, T. Kanda and H. Sato). COSPAR Space Research XVII, Pergamon Press, Oxford, pp. 55-57.

1978a Gravitational fields of planets and the moon. COSPAR Space Research XVIII, Pergamon Press, Oxford, pp. 445-448.

1978b The motion of artificial satellites. In *Proceedings of the 16th General Assembly of IAU*, Reidel Publ. Co., Holland, pp. 80-82.

1978c Comet patrol observations in Japan (with K. Tomita). In *Proceedings of the 16th General Assembly of IAU*, Reidel Publ. Co., Holland, pp. 162-163.

- 1978d Secular perturbations of asteroids and comets. In *Dynamics of the Solar System*, ed. by R. Duncomb (in press).
- 1978e Smithsonian Astrophysical Observatory (with F. L. Whipple *et al.*). In *National Geodetic Satellite Program*, NASA SP-365, pp. 793-940.