

## 大質量星雲内での巨大惑星のその場形成

### The in situ formation of giant planets in dense nebulae

# 生駒 大洋[1], 榎森 啓元[2], 中澤 清[1]

# Masahiro Ikoma[1], Hiroyuki Emori[2], Kiyoshi Nakazawa[3]

[1] 東工大・理・地球惑星, [2] 東工大・理・地惑

[1] Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. Tech., [2] Earth and Planetary Sci., Tokyo Tech., [3] Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. Tech

<http://www.geo.titech.ac.jp/nakazawalab/mikoma/mikoma.html>

近年発見された多くの太陽系外惑星系では、太陽系とは対照的に、巨大ガス惑星(すなわち、木星型惑星)が中心星に非常に近いところに存在する。こうした太陽系との形態の違いを説明する為に、本研究では惑星形成現場である星雲の特性(温度と密度)の違いが、木星型惑星の形成に与える影響について調べた。その結果、太陽系を形成したであろう星雲よりも10倍程度重い星雲であれば、中心星に非常に近い領域でも木星型惑星が形成され得ることが分かった。この程度の質量をもつ星雲は、観測的にも既にいくつも発見されている。

ドップラーシフト法による恒星の揺れの観測から、太陽系以外にも惑星系が存在することが知られている。これらは「系外惑星系」と呼ばれる。これまでに発見された約50個の系外惑星は、太陽系の木星や土星のような巨大ガス惑星(以後、「木星型惑星」)であると推測されている。太陽系において、木星型惑星は太陽から遠い領域、つまり太陽-地球間距離(以後、「AU」)の5倍以上離れた所に存在する。それに対して、系外惑星の多くは中心星に非常に近い領域(典型的には、0.1 AU)に存在する。こうした系外惑星の起源に関して、遠方で形成された木星型惑星の中心星方向への移動の可能性が議論されている。しかし、移動した惑星がなぜ現在の位置で止まったのか、また太陽系の木星はなぜ移動しなかったのか、など未解決な問題が多い。それに対して、本研究では現在の位置での形成(以後、「その場形成」)の可能性を議論した。

木星型惑星の形成は、いわゆる水野不安定モデルによって説明されている。それによれば、希薄な(星雲ガス起源の)大気をまとった固体核が、星雲内でまず形成される。その固体核が微惑星の集積によってある質量にまで成長すると、大気は重力的に不安定になり収縮し始める。その結果、周囲の星雲ガスが惑星に流れ込み、巨大ガス惑星が形成される。この時の固体核質量は、特に「臨界核質量」と呼ばれる。

系外惑星を形成した星雲が、太陽系の惑星を形成したと考えられる星雲(「最小質量星雲」あるいは「林モデル」と呼ばれる)と同じであるとすると、系外惑星が存在するような中心星に非常に近い領域では、固体材料が少なく月や火星程度(地球質量の1/10以下)の固体核しか形成されない。このような小さい固体核がガスを捕獲し始めたとしても、現在の質量にまで成長するのに要する時間は星雲ガスの寿命(約1千万年)を大幅に超えてしまう。したがって、最小質量星雲よりも多くの材料物質を持つ星雲を考えることが必要である。実際、最小質量星雲の質量に比べて、10倍程度質量の大きい星雲が観測によって幾つも発見されている。系外惑星のその場形成に関するこれまでの研究の中には、固体が最小質量星雲に比べて多い星雲を考慮したものはある。しかし、ガスの存在量が大きい、つまり星雲ガスの密度が高くなることの影響は調べられていない。そこで、本研究では星雲ガスの密度(と温度)に対する臨界核質量の依存性を調べ、さらにガス捕獲に要する時間も見積もった。結果は以下の通りである。

まず、過去の研究によって導かれた「臨界核質量は、星雲ガスの密度や温度に依存しない」という結論は、最小質量星雲のガス密度、温度領域に対しては成り立つが、一般的には成り立たないことが分かった。ガスの密度がある値を超えると、臨界核質量は密度の増加に従って小さくなる。またそのとき、臨界核質量は星雲ガスの温度が低くなるほど小さくなる。さらに、ガスの密度を星雲全体として高くした場合、中心星に近いほど臨界核質量は小さくなることも分かった。すなわち、星雲ガスの密度を最小質量星雲のそれより10倍程度高くした場合、臨界核質量は5 AUでは地球質量の20倍程度であっても、0.1 AUでは地球質量の2倍程度にまで小さくなる。

ガスと固体の質量比が太陽系のそれと同じであるとすると、この程度密度の高い星雲では、0.1 AUであっても地球質量の1-2倍程度の固体核が形成されえる。さらに、Ikoma et al. (2000)の解析結果を基に、ガス捕獲に要する時間を見積もると、この場合は星雲ガスの寿命に比べて非常に短い時間でガス捕獲が可能であることも分かる。これらの結果は、観測されている系外惑星のその場形成の可能性を示唆するものである。