

Title	The Kelvin-Helmholtz Instability in the Protoplanetary Disk
Author(s)	長谷川, 幸彦
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	https://doi.org/10.18910/34032
DOI	10.18910/34032
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (長谷川 幸彦)

論文題名

The Kelvin-Helmholtz Instability in the Protoplanetary Disk
(原始惑星系円盤におけるケルビン・ヘルムホルツ不安定)

論文内容の要旨

地球や火星のような惑星は、太陽形成の初期段階に原始星の周りに形成される原始惑星系円盤の中でダストが成長することで形成されると考えられている。この惑星形成の初期段階におけるダストから微惑星への成長過程に存在する中心星落下問題や衝突破壊問題を回避する方法の一つとして、ダスト層の重力不安定というモデルが提案されている。しかし、このダスト層の重力不安定は、ケルビン・ヘルムホルツ不安定によって駆動される乱流によるダストの巻き上げによって発生を妨げられてしまう。そのため、ダスト層の重力不安定による微惑星形成過程を明らかにするためには、ケルビン・ヘルムホルツ不安定および乱流に関する研究が必須なのである。

ケルビン・ヘルムホルツ不安定およびそれによって駆動される乱流に関して過去に行われた多くの研究では、計算の簡略化のため、円盤でのダスト成長の影響を考慮していなかった。ダストの成長はダストの円盤内での沈殿の様子に強く影響する。このダストの沈殿によって決まるダスト密度分布は円盤の公転速度を決定し、この公転速度はケルビン・ヘルムホルツ不安定の励起に対する非常に重要な要因である。したがって、本来はダストの成長はケルビン・ヘルムホルツ不安定の発生に関する研究において非常に重要な要素なのである。

私はこの問題点に着目し、ダストの成長を考慮した場合においてケルビン・ヘルムホルツ不安定が励起される可能性について研究した。ダストの成長と沈殿を数値的に解き、それによって求まるダスト密度分布を用いてダスト層の重力不安定とケルビン・ヘルムホルツ不安定のどちらが先に起こるのかについて調べた。その結果、ダストの成長を考慮した場合、「円盤のダスト量が大きい場合でも、ケルビン・ヘルムホルツ不安定はダスト層の重力不安定よりも前に必ず一度は起こってしまう」という可能性が示唆された。これはダスト成長の影響を考慮していなかった過去の研究の結果（円盤のダスト量が大きくなるとダスト層の重力不安定がケルビン・ヘルムホルツ不安定よりも前に起こる）とは異なる結果であった。また、このダストの成長の有無による結果の違いは、ダストが成長することで沈殿する最中にダストに働くガス抵抗力の抵抗則が変化することが原因であることが示された。これらの結果は、ケルビン・ヘルムホルツ不安定に関する研究においてダスト成長を考慮することの重要性を示唆している。

上記の結果は、しかしながら、原始惑星系円盤においてダスト層の重力不安定による微惑星形成の可能性を完全に否定するものではない。「ダストの衝突合体による成長 → ダストの沈殿 → ケルビン・ヘルムホルツ不安定による乱流の発生 → ダストの巻き上げおよびその際のダストの衝突破壊 → ケルビン・ヘルムホルツ不安定の収束」というサイクルを繰り返すことで、ダストの成長と破壊がある（準）平衡状態に達する場合、それはダストの成長がない場合に似ており、円盤のダスト量が大きければダスト層の重力不安定が起こる可能性があると考えられる。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (長谷川 幸彦)	
	(職) 氏 名
論文審査担当者	主査 教授 長峯健太郎
	副査 教授 芝井広
	副査 教授 寺田健太郎
	副査 神戸大教授 中川義次
	副査 准教授 藤田裕

論文審査の結果の要旨

惑星形成の初期段階において、ダストから微惑星への成長を妨げる過程として、中心星落下問題や衝突破壊問題といったものが挙げられる。これらの問題を回避する方法の一つとして、ダスト層の重力不安定性があるが、乱流によるダストの巻き上げによって重力不安定性は起こりにくくなる。長谷川氏は、この問題に絡んだケルビン・ヘルムホルツ不安定(Kelvin-Helmholtz Instability; KHI)および乱流に関する研究を行った。

KHI およびそれによって駆動される乱流に関して過去に行われた多くの研究では、計算の簡略化のため、円盤でのダスト成長の影響を考慮していなかった。ダストの成長および沈殿の仕方によって決まるダスト密度分布は円盤の公転速度を決定するため、KHI 励起を決定する重要な要素の一つである。

長谷川氏はこの問題点に着目し、ダスト成長を考慮した場合に、KHI が励起されるかどうかについて研究した。ダストの成長と沈殿を数値的に解き、ダスト密度分布の時間発展を決定し、ダスト層の重力不安定と KHI のどちらが先に起こるのかについて調べた。その結果、ダストの成長を考慮した場合、「円盤内のダスト量が大きい場合でも、KHI はダスト層の重力不安定よりも前に必ず一度は起こってしまう」可能性が示唆された。これはダスト成長の影響を考慮していなかった過去の研究の結果とは異なる帰結である。また、このダスト成長の有無による結果の違いは、ダストが成長し、沈殿する最中にダストに働くガス抵抗力の抵抗則が変化することが原因であることが明らかになった。これらの結果は、KHI に関する研究においてダスト成長を考慮することの重要性を示唆している。長谷川氏の研究の結果は、大まかに言えば重力不安定性による惑星形成が非常に困難であることを示唆する物で、非常に重要な帰結である。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値のあるものと認める。