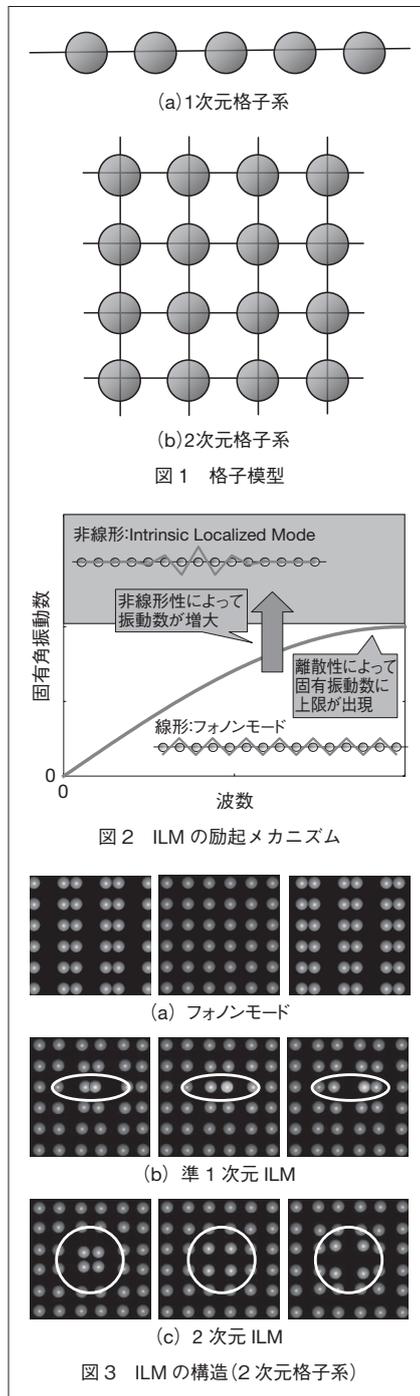
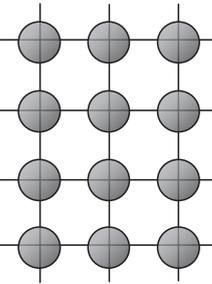


非線形格子模型における エネルギー局在構造とその応用



(a) 1次元格子系



(b) 2次元格子系

図1 格子模型

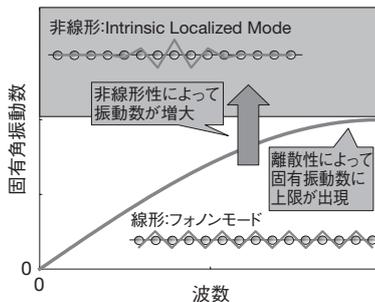
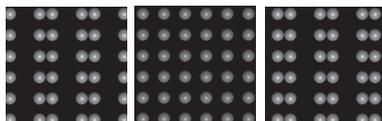
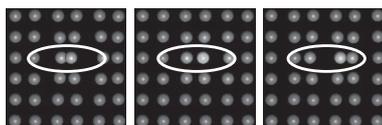


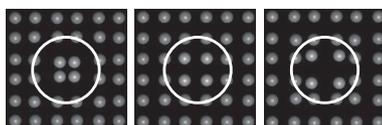
図2 ILMの励起メカニズム



(a) フォノンモード



(b) 準1次元 ILM



(c) 2次元 ILM

図3 ILMの構造(2次元格子系)

1. はじめに

質点と相互作用(ばね)で構成される格子模型(図1)は、さまざまなスケールで存在する種々の周期構造物のダイナミクスを記述するモデルとして広く解析の対象となってきた。相互作用が非線形性を有する場合、このような模型は非線形系と呼ばれ、線形系では見られない固有モード間のエネルギー

ギー交換やソリトンなどのダイナミクスが出現することが知られている。

近年、このような非線形格子系に特有の現象として非線形局在モード(Intrinsic Localized Mode/ILM)とよばれる振動モードの存在が明らかになり⁽¹⁾、種々の興味深いダイナミクスが報告されている。本稿では、このILMについて、その構造・ダイナミクスおよび工学的な応用を目指した研究事例を紹介する。

2. ILMの構造・ダイナミクス

ILMは格子系の離散性と非線形性がともに存在する場合に出現する。構造物が離散的な構造を持つ場合、その固有モードの振動数は上限をもち、存在可能な最大角振動数 ω_{\max} が出現することが知られている。いっぽう、格子間の(正の)非線形相互作用には格子振動の角振動数を増大させる作用がある。この作用によって、ある格子点の振動数が ω_{\max} を超えた場合、そのような振動は、固有モードのように系全体に広がることができなくなり、限られた範囲の格子点でのみ大きな振動を持つ構造となる。これはエネルギーの観点からは、数個の格子点に大きなエネルギーをもつ局在構造が出現すると見ることができる。このようにして、ILMが系に励起する(図2)。

図3に理想的な格子モデルで出現するILMの構造を示す。図のように数個の格子点に局在した構造が励起される。個々の格子点は振動の変位が隣接格子で逆符号となるジグザグ形状を保ちつつ、高い振動数で振動する。ILMは格子系の次元に依存せず普遍的に出現し、2次元系では、1次元系と比べてより複雑な構造を持つ。

ILMは局在構造を保ったまま、格子上に留まっている静止型と、格子点から格子点へと振動が移動していく移動型が存在する。移動型ILMは構造が格子系の格子間隔と同じオーダであることから、不純物のような格子スケールの構造に鋭敏に反応する。また、ILM同士の相互作用もきわめて複雑であることが示されており、数理モデルとしてのダイナミクスとして精力的に研究が行われている。

3. 研究事例

ILMの出現メカニズムは、非線形格子モデルとみなせる構造であれば、スケールにかかわらずどのような構造にでも普遍的に出現する可能性がある。ここでは実在の構造をモデルとした研究事例を2つ紹介する。

(1) 原子・分子によって構成される結晶格子構造は離散的であり、その相互作用ポテンシャルは本質的に非線形である。そこで炭素原子からなる2次元のグラフェンシートにおけるエネルギーの局在構造について分子動力学法(Molecular Dynamics/MD)を用いて解析を行った。その結果、グラフェンシートの最大固有角振動数よりも大きな角振動数を有するエネルギー局在が出現することが明らかになった⁽²⁾。

(2) 微細加工によって作製されたマイクロカンチレバーアレイは、個々のカンチレバーを非線形振動子、カンチレバー間の相互作用をばね相互作用とする非線形格子系と見ることができると、はじめは均一であるカンチレバーの振動の振幅に不均一が生じ、一部のカンチレバーに大きな振幅の振動が成長した結果、ILMが励起するという実験結果が報告されている⁽³⁾。

4. おわりに

ILMは非線形力学の分野において多くの研究が進められており、理論・シミュレーションを中心とした種々の成果が報告されてきたが、近年は、実験や応用を目指した研究が始まっている。しかし、多くの未解明の課題が残されており、今後のさらなる研究の進展が望まれる。

(原稿受付 2006年12月4日)

[土井祐介 大阪大学]

●文献

- (1) Sievers, A. J. and Takeno, S., Intrinsic localized modes in anharmonic crystals, *Phys. Rev. Lett.*, **61-8** (1988), 970-973.
- (2) 土井祐介・山寄 優・北村隆行・中谷彰宏, 非線形相互作用によるエネルギー局在構造(非線形局在モード)と材料の原子・分子スケールでのダイナミクスへの応用, *材料*, **55-7** (2006), 700-705.
- (3) Sato, M., ほか, Observation of locked intrinsic localized vibrational modes in a micromechanical oscillator array, *Phys. Rev. Lett.*, **90-4** (2003), 044102.