

# アコースティック・エミッションを利用した 穿孔性害虫の非破壊調査法

京都大学大学院農学研究科森林科学専攻 <sup>ふじ</sup> 藤 <sup>い</sup> 井 <sup>よし</sup> 義 <sup>ひさ</sup> 久

## はじめに

割り箸を割る時、箸の先端を徐々に開いていくと、あるところで箸は突然割れる。そして割れる際には、「ボキッ」というような音をたてる。これは箸の根元に蓄積されたひずみのエネルギーが一気に開放され、その一部が音や振動になるためである。ところが箸が割れるより以前から、その根元ではミクロな亀裂が発生しており、亀裂の進展とともに微弱な振動（弾性波）が発生している。このように材料の破壊に伴って弾性波が発生する現象をアコースティック・エミッション（AE）という。発生する AE 波を高感度のセンサで検出すると、材料内部で起きる破壊の進行過程を連続的に監視できる。AE 計測は材料科学の分野で発達してきた手法で、内部に亀裂など欠点のある材料に荷重をかけると、健全材に比べてより低い荷重で AE 波が発生するため、材質や内部欠陥の非破壊的な検出に用いられる。

木材科学の分野でも AE による材質評価などが研究されているが（藤井, 1997）、筆者らは、シロアリなど木材内部を穿孔する害虫が、その口器で木材を噛み砕いたり、食いちぎったりする現象も一種の破壊であると考え、それに伴って発生する AE 波の検出実験やその応用実験を行ってきた（FUJII et al., 1990；FUJII et al., 1995；藤井ら, 1997；藤井ら, 1998；今村・藤井, 1995；今村ら, 2000；MATSUOKA et al., 1996；NOGUCHI et al., 1991；YANASE et al., 1998；築瀬ら, 1999；YANASE et al., 2000 a；築瀬ら, 2000 b）。

## I AE センサと AE モニタリング

材料内で発生した AE 波は、材料表面にとりつけた高感度の振動センサで検出する。振動検出素子としては、通常圧電素子とよばれるセラミックス系あるいは樹脂系の素子が用いられる。これらは振動による圧力変動を電荷に変換するもので、前者の代表的なものにジルコン酸チタン酸鉛（PZT）が、後者にはポリフッ化ビニリデ

ン（PVDF）がある。これらの素子は、通常円筒型の金属ケースに納められており（図-1）、市販品ではおよそ口紅のキャップ大程度のもが多い。センサは非常に高感度で、指でさわるだけでも反応するため、通常計測に際しては、その受圧面に木材にホットメルト接着剤や瞬間接着剤などで仮止めしたり、ゴムバンドなどで固定する必要がある。

センサからの信号は、電圧変換、増幅やフィルタによるろ波処理がなされる。このようにして検出された AE 波は、オシロスコープなどで観察できる。AE 波は、発生パターンによって連続型 AE 波と、突発型 AE 波とに分類されるが、木材穿孔性害虫が食害によって発生する AE 波は、図-2 に示すような後者に属する。すなわち突

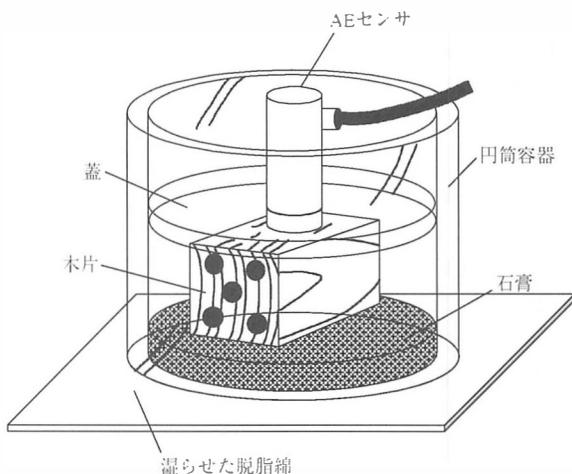


図-1 円筒型飼育容器に設置したシロアリ食害材からの AE 検出。容器には穴をあけた木片とともに所定数のシロアリを移入した（FUJII et al., 1990）。

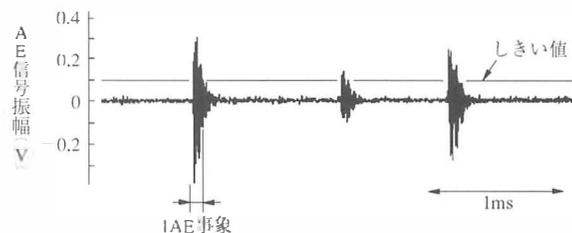


図-2 食害材から検出された AE 波の例（FUJII et al., 1990）

Non-destructive Detection of Boring Insects Using Acoustic Emission Monitoring. By Yoshihisa Fujii

(キーワード：アコースティック・エミッション, AE, 穿孔性害虫, 摂食, 非破壊検査)

発型 AE では、比較的大振幅で一定の時間持続する波動が、断続的に発生する。AE 計測ではあらかじめ設定しておいた閾値を越える一連の波動を一つの AE 事象として認識し、一定の時間内の AE 事象の発生率や大きさ(振幅)が評価される。また 1 AE 事象は一つの微小破壊現象に対応付けられるとされる。

材料内で発生した AE 波が、材料中を伝わる際に距離とともに減衰する。減衰の程度は材料によって異なり、木材では金属に比べて減衰の程度は大きい。また木材では、繊維方向に伝わる場合よりもその直交方向でより大きく減衰し、また含水率が高いとより大きく減衰する。

筆者が行っている木材加害性昆虫の検出では、共振型の PZT センサを用いた場合、増幅倍率 80 dB 程度、しきい値 0.1 V 程度の計測条件を用いることが多い。

## II シロアリの食害の検出

穿孔性の害虫の摂食による AE 波の発生を確かめる実験を紹介する。飼育容器に設置した木材を、イエシロアリ (*Coptotermes formosanus* Shiraki) に摂食させ、木材に AE センサを取り付ける (図-1)。センサは摂食によって発生し、木材中を伝わった AE 波を検出する。AE 波は摂食行動に対応して断続的に発生しする (図-2)。表-1 は職蟻と兵蟻の構成比を変えた場合の結果を示す。食害材から検出される AE 波は、表から職蟻の摂食によって発生することがわかる。

昆虫の発生する音や振動をマイクロフォンなどで検出する実験は、古くから文献に見られる。そのほとんどは可聴周波数領域の信号を扱っており、周囲の雑音の影響を受けやすく、またセンサの感度が低いため、比較的大きなレベルの信号でないと検出できなかった。一方 AE 計測では、超音波領域の高周波数の信号を高感度のセンサで検出するため、穿孔性害虫の活動を効率的に検出できる。シロアリの摂食活動による AE 波の計測によっ

て、摂食活動に及ぼす温度や湿度の影響、光・気流や振動などの影響やシロアリの樹種の嗜好性などが種ごとに評価できる。またこれまでの実験で、フィールドにおける連続計測によってコロニー内での活動を間接的にはあるが明らかにすることもできた。一連の基礎研究を基に、小型の AE 検出器が開発されており、木造建築物や樹木などにおけるシロアリ食害の非破壊検出の現場で用いられつつある。

## III ヒラタキクイムシの検出

成虫であれ、幼虫であれ、シロアリと同じように樹木や木材を摂食する昆虫については、摂食による AE が検出できる。ヒラタキクイムシ (*Lyctus brunneus* Stephens) について、その幼虫を木材に接種してから連続して AE を計測した (今村ら, 1998)。その結果、接種後数時間で AE 波が発生しはじめ、接種後 500 から 600 時間の間に幼虫が接種口から脱出するまでの間、断続的に増加した (図-3)。AE 発生率は、接種頭数の多い試料ほど高く、また試料を打撃すると AE 発生が一時的に停止した。蛹状態にあると考えられる時期には AE 発生はほぼ停止した。これらは検出された AE 波が、幼虫および成虫の木材摂食行動に由来することを示している。AE 計測によってヒラタキクイムシだけでなく、文化財などで問題になるシバンムシ類の食害の検出も可能と考えられる。AE 波は、木材中を伝搬する間に減衰し、その程度は木材の繊維方向よりもその直交方向で大きい。したがって、大断面の木材の内部で食害が進行する場合には、木材表面にとりつけたセンサでは食害による AE

表-1 移入シロアリ頭数の構成比と AE 発生率の関係 (Fujii et al. 1990)

番号	イエシロアリ 移入頭数		AE 発生率 (/分)
	職蟻	兵蟻	
1	5	145	28
2	75	75	332
3	140	10	561
4	150	0	280
5	75	0	240
6	5	0	32
7	0	150	0

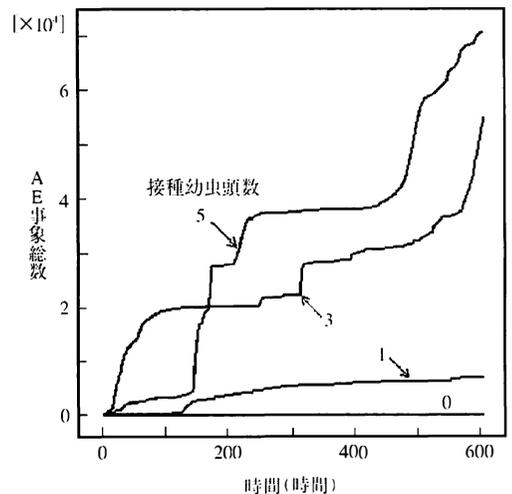


図-3 ヒラタキクイムシ接種木から発生する AE の時間変化 (今村ら, 1998)



図-4 スギカミキリ接種木にとりつけた AE センサと小型 AE 計測装置(左)と樹皮下の辺材部を食害する幼虫(接種後約3週間め)(右)

波は検出しにくくなる。その場合には減衰の小さな金属製のニードルなどを対象に突き刺し、これにセンサを取り付けると、ニードルがウェーブガイドの役割を果たし、材内部で発生した AE 波を効率よく検出できる。

#### IV スギカミキリの検出

スギの幼樹に被害をもたらすスギカミキリ (*Semanoctus japonicus* Lacordaire) について、その幼虫を接種したスギ丸太について AE 計測を行った(図-4)(藤井ら, 1994)。スギカミキリの幼虫は、シロアリに比べて体が大きく、口器による木材破壊のレベルも大きいと考えられる。また幼虫は丸太の辺材部分を主に食害する。これらは摂食による AE 波がより検出しやすいことを示唆している。その一方で、幼虫が生息する生材は含水率が高く、AE 波の減衰が大きい。実験では、幼虫の摂食による AE 波の検出も可能ではあったが、センサと幼虫の距離が離れると AE 波の検出は極めて難しいことや、幼虫の移動によって AE 検出率も変化することがわかった(図-5)。木材の物性は、含水率が30%前後で大きく変わる。この含水率以下では含有水分は細胞壁内に結合水として、それ以上では細胞内腔に自由水として存在するため、この境界の含水率を繊維飽和点という。AE 波減衰の程度も繊維飽和点以下では、含水率とともに増加し、それ以上では大きな変化はなくなると考えられる。樹木や生材を用いた検出では、前述のウェーブガイドを含め計測上の工夫が必要である。

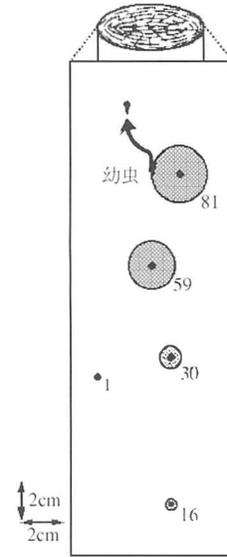


図-5 スギカミキリ接種木から検出された AE 事象数の分布

#### おわりに

本稿では、AE 計測による穿孔性害虫の非破壊検出について概説した。本法の適用対象は、主に木質構造物や木製品の他、樹木などを加害する穿孔性害虫となる。また樹木については細胞内で生じるキャビテーション(水分移動によって生じる気泡の発生と成長)による AE も検出でき、それを通じて穿孔性害虫による樹木生態の変化を捉えようとする試みもある。計測の原理としては、対象内での微小な破壊や摩擦などに由来する振動を検出することであり、条件によっては、食料や果樹などにおける加害昆虫の検出や生態解析などにも適用できると考えられる。

#### 引用文献

- 1) FUJII, Y. et al. (1990): Forest Prod. J. 40: 34~36.
- 2) 藤井義久ら (1994): 環動昆 6: 112~118.
- 3) FUJII, Y. et al. (1995): Wood Research 82: 47~53.
- 4) 藤井義久 (1997): 木材学会誌 43: 809~818.
- 5) 藤井義久ら (1997): 木材保存 23: 11~20.
- 6) 藤井義久ら (1998): 環動昆 9: 101~105.
- 7) 今村祐嗣・藤井義久 (1995): 木材保存 21: 11~19.
- 8) 今村祐嗣ら (1998): 環動昆 9: 98~100.
- 9) 今村祐嗣ら (2000): 住まいとシロアリ, 海青社, 大津, 174 pp.
- 10) MATSUOKA, H. et al. (1996): Wood Research 83: 1~27.
- 11) NOGUCHI, N. et al. (1991): Forest Prod. J. 41: 32~36.
- 12) YANASE, Y. et al. (1998): Forest Prod. J. 48: 43~46.
- 13) 梁瀬佳之ら (1999): 環動昆 10: 160~168.
- 14) YANASE, Y. et al. (2000 a): J. Wood Sci. 46: 243~247.
- 15) 梁瀬佳之ら (2000 b): 材料 49: 401~405.