

「超音波医工学との邂逅 ～東北大学に育まれて～」

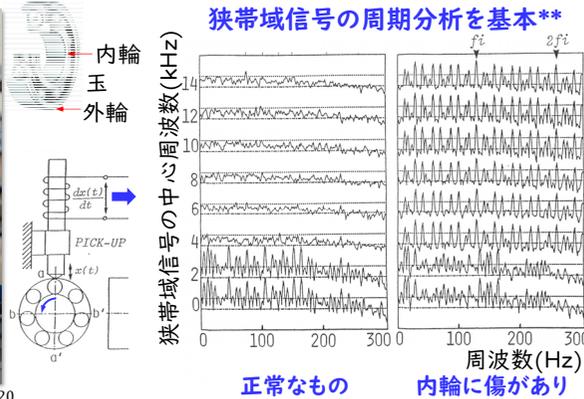
“沢山の回り道”の経験からお伝えしておきたいこと

東北大学 大学院 工学研究科 電子工学専攻 教授
大学院 医工学研究科 医工学専攻 教授
金井 浩

博士課程の時代 (片平:城戸研究室) (1983-86)

音響・音声の研究室: 城戸健一教授, 牧野正三助教授(当時), 安倍正人助手(当時)

ビデオデッキ回転ヘッドに用いる精密ボールベアリング(玉軸受)の自動診断システムの開発。長時間に及ぶ聴覚検査の労働から検査員を解放。回転中のベアリングを分解せずに診断。(軸受: 年20億個生産*)



* 経済産業省生産動態統計年報 機械統計編 2020

**H. Kanai, M. Abe, K. Kido, *The Journal of the Acoustical Society of Japan* (E) 1986; 7: 121-131.

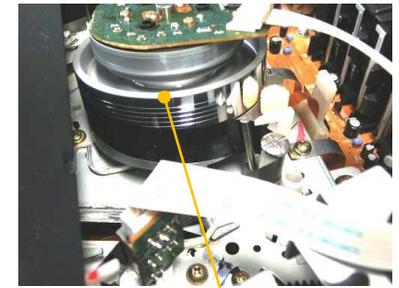
2 博士課程から研究室を移り大きな遅れ → 昼は大学で実験, 夜は自宅で4時迄勉強の毎日

(玉軸受の補足説明)ビデオデッキでテープが回転ヘッドに巻き付く



身の周りの回転系では,
ボールベアリング(玉軸受)が多く使われている

回転する部品を支え,
回転部との摩擦を軽減する



ビデオデッキの回転ヘッド

これを支える玉軸受(ボールベアリング)に傷があると, 録画・再生ビデオ映像に雑音が生じる。

3 <https://backtoshowa.com/vtr-construction/>

東北大学 工学/医工学研究科 金井 浩最終講義

博士課程の学生時代(城戸研究室)(1983-86)

生産工場でのデモ用の実験機の試作



バタフライ演算器
外付けで製作

(回路図は安倍先生)

モトローラ VME10
RAM 384 kB
CPU 68010
CLK 16MHz
1984年(Windows95の約10年前)

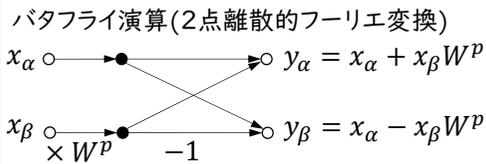


16bit整数型乗算LSI×4個



診断専用器の製造(@計測器メカ)

→工場に50台の導入*



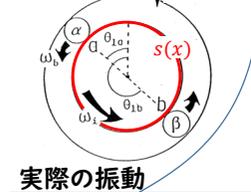
*第18回石川賞受賞(日本科学技術連盟)1987.11.5, 石川賞...経団連会長の石川一郎氏の功績を記念し, 企業経営の近代化や製品の品質向上に寄与する新しい手法やシステムの開発を表彰。

5 研究室は音響・音声と幅広く, 回路製作も当たり前, 修了に直接役に立たないことも多く経験

博士課程の時代(城戸研究室)(1983-86)

表面粗さのモデルによる解析

振動波形 $y(t)$



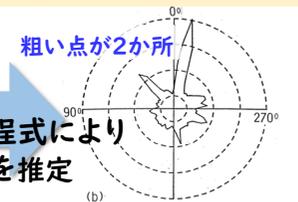
実際の振動

最小二乗法・線形方程式により
内輪の表面粗さ $s(x)$ を推定
(周期分析には拠らず)

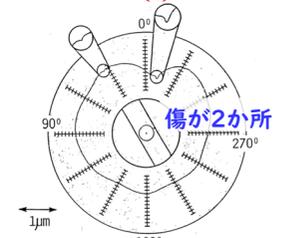
$$y(t) * h(t)^{-1} \leftrightarrow \int_{i=1}^N \text{玉数} \text{位置関係で決まる} \text{内輪の表面粗さ} \\ \text{振幅への重み付け} W(\theta(i, t; \theta_0)) \cdot s(x(i, t; \theta_0))$$

玉 i とピックアップの相対角度 θ
 $\theta(i, t; \theta_0) = \text{玉公転速度} \times t + \frac{2\pi}{N}i + \text{初期角度}\theta_0$

玉 i と接触する軌道上の点の位置 x
 $x(i, t; \theta_0) = (\text{玉公転} - \text{内輪回転速度}) \times t + \frac{2\pi}{N}i + \text{初期角度}\theta_0$



推定された内輪軌道表面の粗さ推定値 $\hat{s}(x)$



後日, 分解し針で計測した内輪表面の粗さ形状

*H. Kanai, M. Abe, K. Kido, *Trans. of the American Society Mechanical Engineers, J. Vib., Acoust., Stress, and Reliab.* 1987; 109: 60-68.

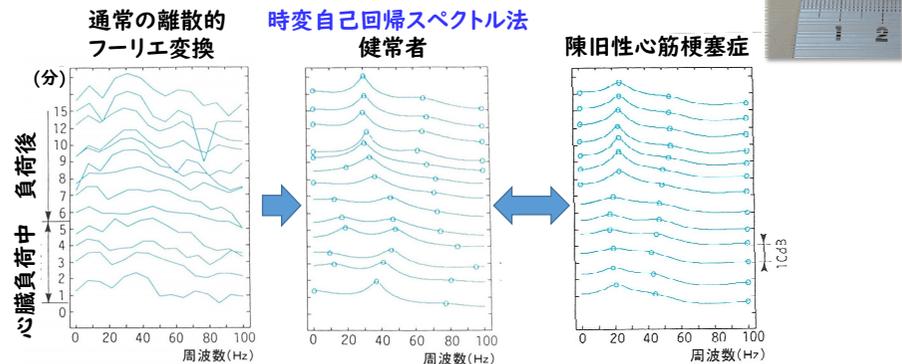
6

川内:情報処理教育センター 助手の時代(1986.4~1988.12)

- 奈良 久教授(兼務), 川添良幸助教授(当時), 中尾光之助手(当時)
- 本務の教育支援以外, 自分の研究を自由に行なう環境

7 東北大 循環器内科 小岩喜郎先生との出会い

食道内心音(IV音)の解析: 心房収縮時の左心室壁振動
(加速度ピックアップを嚥下)



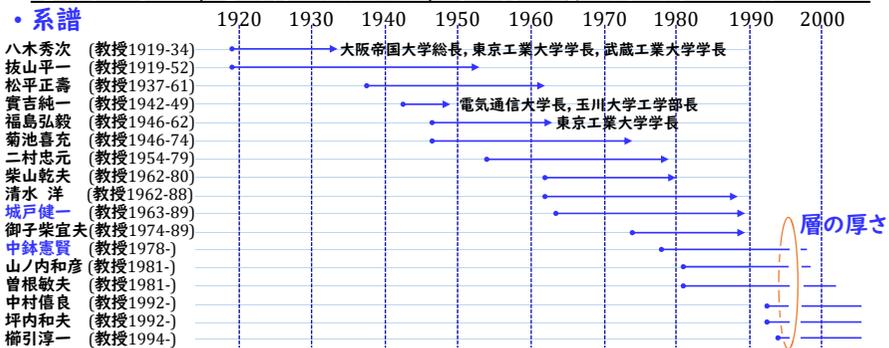
*H. Kanai, N. Chubachi, K. Kido, Y. Koiwa, T. Takagi, J. Kikuchi, T. Takishima, *IEEE Trans. on Signal Processing*, 1992; 40: 1198-1205.

7 小岩先生からの依頼に懸命に取り組む → IEEEの信号処理の論文 → 後日, 発展

電気工学科(青葉山:中鉢研究室) 助手の時代(1989.1~)

超音波工学の研究室: 中鉢憲賢教授, 櫛引淳一助教授

・電気系・通研は, 電磁波・磁気と並び, 超音波・音響研究に関する世界のメッカ



- 青葉山: 中鉢憲賢, 櫛引淳一, 中村信良・山田 顕,
- 通 研: 山ノ内和彦・竹内正男・長 康雄・小田川裕之, 坪内和夫・益 一哉
- マテ系: 山中一司
- 加齢研: 田中元直, 仁田新一, 西條芳文

超音波研究の世界拠点 → IEEE 超音波 年次シンポジウムを欧米以外で初めて仙台で開催(1998年)
中鉢教授が総責任者, 金井はGeneral secretary(総務責任者)を担う

*ANTENNA 東北大学電気情報系の歴史, 1998.

8 「研究拠点の形成」が研究大学の目標, その「持続」は難しい; 広く長い視野が要る

東北大学における 超音波医学の基礎研究の系譜

工学部 電気工学科 1919年工学部創立



抜山 平一 (1889-1965) 1919-1942在籍

- 1913年 東京帝大電気卒
- 仙台高等工業学校講師
- 1917年 ハーバード大学留学, ケネリー教授に師事
- 1919年 東北帝国大学工学部教授
- NA振動子(青柳健次)
- 電気聴診器(マグネトフォン)の開発(1925年)

1925年電気聴診器

八木 秀次 (1886-1976) 1919-1933在籍

- 1913年 独トレスデン工科大学留学, ハルクハウゼン教授に師事
- 1914年 英 ユニバーシティカレッジ, フレミング教授の下で実験研究に従事
- 1915年 米国ハーバード大学留学, ピアス教授に師事, 1916年帰国
- 1919年 東北帝国大学工学部教授
- 1933年 大阪帝国大学理学部教授・学長



大阪大学産業科学研究所

- 加藤 金正(1908-1996)
- 1933年 東北大学卒
- *方向指示型ヘテロダイン超音波ドブラ血流計の開発

(里村 茂夫, 1920-1960)

(二村 泰治, 1923-)

東京工業大学

- 実吉 純一(1907-2003)
- 1931 東北帝国大学電気卒
- 1937-1948(東北大学)
- 1949-1967(東京工業大学)
- 1968-1972(千葉工業大学)
- 1973- (玉川大学)

武蔵工業大学

- 井出 正男(1929-)
- *階調性超音波診断装置
- *超音波診断装置の総合感度の試験法

増澤 信義

大平 悦三

1977年電子走査プローブ

東芝

飯沼 一浩 (東北大 電子工学科出身)

- *電子走査リアルタイム超音波診断装置の開発(1977?)
- (城所 剛)

佐々木 博(東北大 菊池研出身)

電気通信研究所

菊池 喜充

(1910-1984)日本超音波医学会 初代会長

- 奥山大太郎(1927-1995)
- 心音
- 超音波による頭蓋内疾患検出(Aモード法, 1965)(順天堂大学 田中憲二, 和賀井敏夫と共同)
- 感度断層法の考案(1965)
- 凹面振動子の導入
- 心拍同期心臓断層法の開発(1964)
- 超音波心臓断層装置の開発(1964-66)
- 超音波心臓断層画法の開発(1968)
- 超音波心臓断層キモグラム法(1969)

抗酸菌病研究所

海老名敬明(1899-1990)

岡 捨己

田中 元直 (1932-)

- 心拍同期心臓断層法の開発
- 心拍同期心臓断層法の開発
- 超音波心臓断層装置の開発(1964-1966)
- 超音波心臓断層画法の開発(1968)
- 超音波心臓断層キモグラム法(1969)
- 心拍同期経胸壁心臓断層法の開発
- M系列変調ドブラ法
- Echo-Dynamographyの開発

東北大学医学部

板原 克哉(1916-)

佐藤 彰(小児科)

渡辺 決(京都府立医科大学) (1935-)

海法 裕男

棚橋 善克(1944-)

1962年心臓断層法

工学部 電気工学科

中鉢 憲賢 (1933-) 1979年工学部

- 医学生物学用超音波顕微鏡の開発
- 硬組織(歯や骨)用の超音波診断装置の開発
- 心臓等の運動組織表面の微小振動の計測

超音波顕微鏡

櫛引 淳一

- *医学生物学用超音波顕微鏡の開発
- *硬組織(歯・骨)用の超音波診断装置の開発

医工学研究科

加齢医学研究所

医学部 電子工学専攻

小岩喜郎

- *位相差トラッキング法による微小振動・厚み変化計測法の開発
- *動脈弾塑性特性計測の開発

金井 浩

- *血管壁粘弾性特性計測プローブ開発
- *血液性状評価法の開発

長谷川英之

- *血管壁粘弾性特性計測プローブ開発
- *血液性状評価法の開発

森 翔平

梅村晋一郎

- *高効率HIFU治療法の開発

西條 芳文

- *生体組織用超音波音速顕微鏡実用機の開発

吉澤 晋

小玉 哲也

一関高専

明石 尚之

富山大学

アロカ

河西千廣 (1938- 東北大 菊池研出身)

- リアルタイム2次元超音波血流映像装置(カラードブラ)の開発(1980年)

1980年

カラードブラ血流計測

日本無線理医学研究所

- 中島 茂(1907-2006)
- 内田 六郎(1922-)
- 萩原 芳夫(1929-)
- 入江 喬介(1943-)
- *電子走査型超音波診断装置開発(1971)

9 学内だけでなく、卒業生・繋がりある人々の支援に助けられて来た。

東北大学における超音波医学(医工連携)

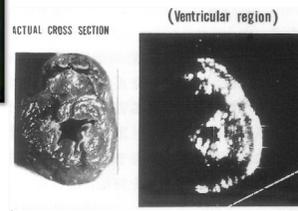


1962年 世界初の心臓断層像

抗酸菌病研究所(加齢医学研究所)

田中元直 教授

電気通信研究所 菊池喜充 教授



日本超音波医学会論文賞を88歳に
筆頭著者として受賞(2019)



田中元直教授には、金井が2003年教授昇任後も、2022年まで鼓舞された。
①分野間の融合の成否は、互いに相手分野に入り込んだ交わりの量で決まる
②教授は、学生とは別に困難な自分のテーマをもち、自ら実験・研究を継続すべし
→これ以降、そのテーマの話が中心です。

10

電気工学科(中鉢研究室) 助手の時代(1989.1~)

・中鉢教授との議論: 1989年出張中@川越線

「食道内心音波形の源の振動を、超音波で体表から計測しよう」

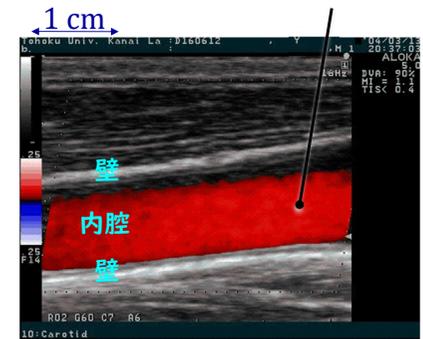
「医用超音波の画像処理だけの研究は行わない」



「心臓壁振動の超音波計測」は、
他者がまだ行っていない新しいテーマ。

心臓の動きが、工学系には複雑過ぎる
(心臓は、一生涯のテーマとなった。
学生も、良く付いてきてくれた。)

それまでのドップラー効果利用による血
流速度計測(1980)では、拍動と共に
変位する壁の速度波形は計測できない



ヒト頸動脈の断層像

11 ここから、音響工学(解析)と超音波工学(計測)と循環器医学の融合を目指した

電気工学科(中鉢研究室)の講師・助教授の時代(1991.3~)

- ・自分にとって、超音波医学はゼロからのスタート、しかし、臨床系の先生方も暖かく見守って下さった(田中元直先生、小岩喜郎先生)。
- ・卓上超音波診断装置U2000+アナログ回路自作+デジタル化、
- ・全ての機器を、送信超音波の生成クロック信号に同期して駆動



12 超音波の高周波信号を1秒間連続計測できる汎用器はなく、自前で用意

ヒト・摘出血管・家兔実験・国際会議(1994年)での見学会



ヒト(学生どおし)の実験



ヒト摘出血管の実験



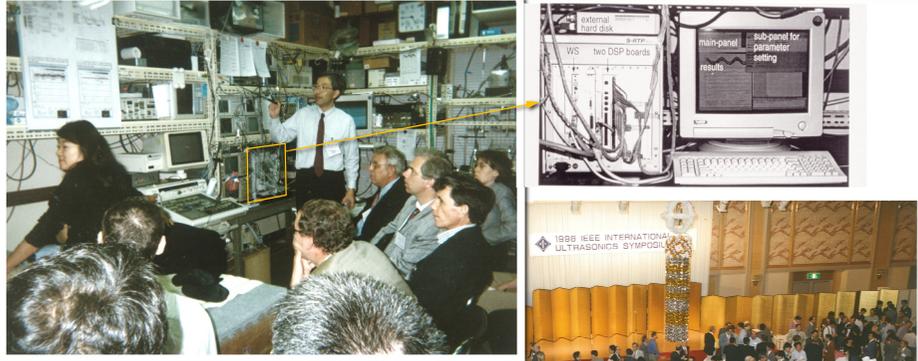
家兔の実験



国際会議での見学会
(米国学会の重鎮)

13

IEEE超音波シンポジウム1998@仙台 presentation & tours(見学会)に合わせ
心臓壁振動のリアルタイム計測装置の開発 →実際に知って信頼頂くことが大切



催し(能)や料理が大好評だった
 IEEE超音波シンポジウム

- そのため、
- ・日本側の入念な準備
 - ・超音波企業・卒業生から支援

*「担う以上は、中途半端でなく、徹底的にやれば必ず得るものがある」(坪内教授)

14 国際会議の総務を担い、多くの未知の領域・人に接する機会を与えられた。

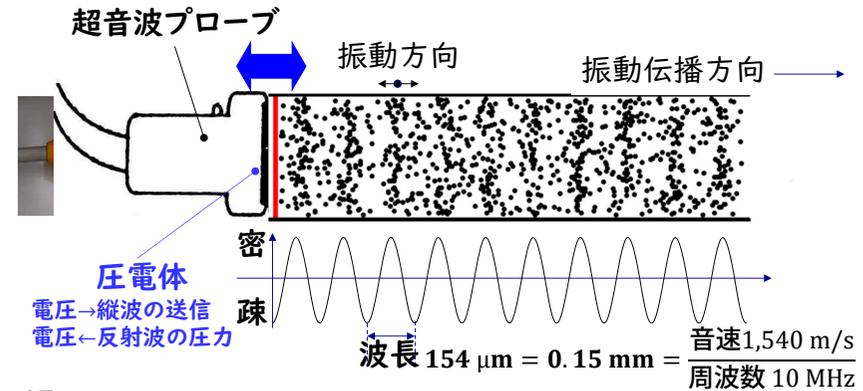
医用超音波：利用する超音波は、縦波



横波：液体・気体中では伝播できない



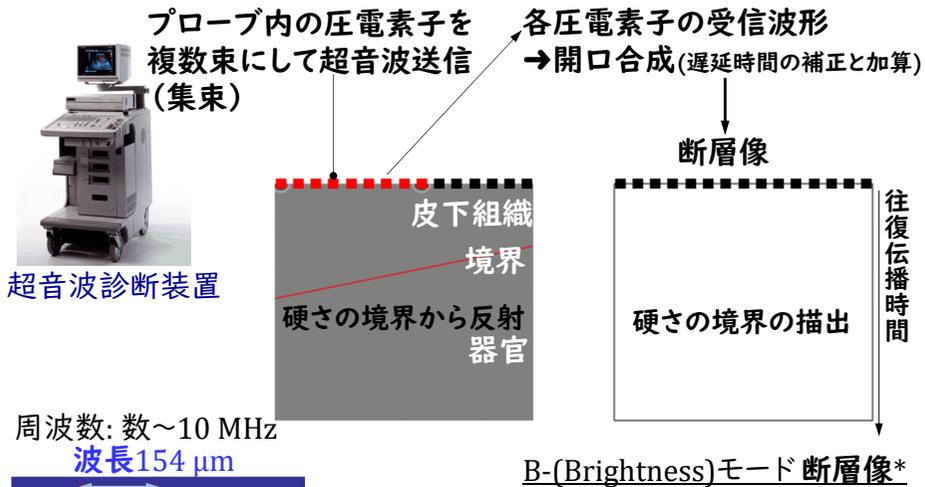
縦波(疎密波)：振動伝播方向と振動方向が一致



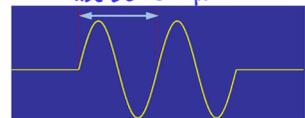
17 Animation courtesy of Dr. Dan Russell, Kettering University

1,000 μm = 1mm 東北大学 工学/医工学研究科 金井 浩最終講義

体内部の断層像の測定と可視化



周波数: 数~10 MHz
 波長154 μm



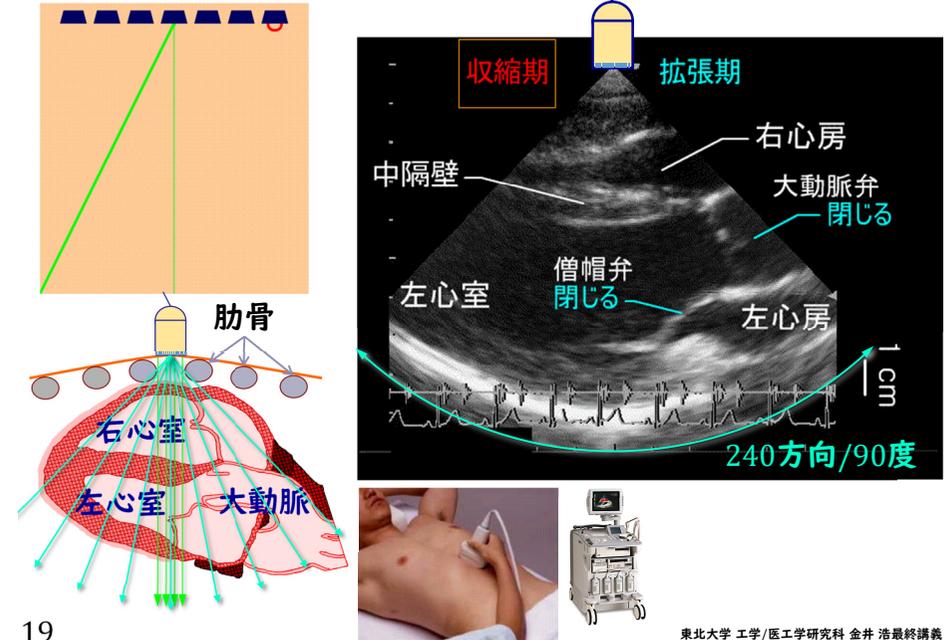
例)10 MHz, 1,540 m/s

波長オーダーの空間分解能で
 体を傷つけずに、断層像を表示

18 *東北大学 森 翔平先生 作成

東北大学 工学/医工学研究科 金井 浩最終講義

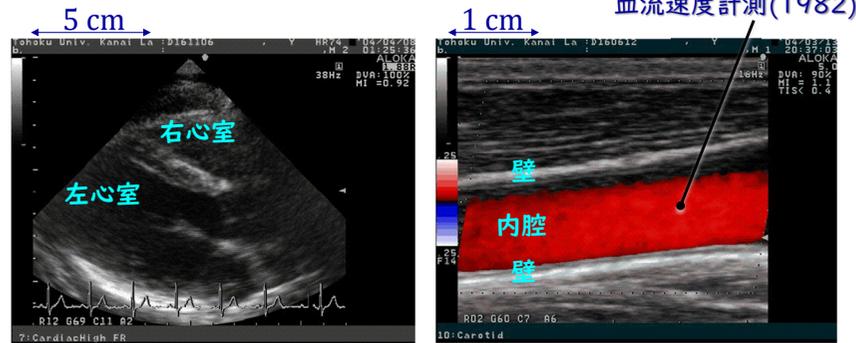
心臓の動く様子を 超音波 で可視化



19

東北大学 工学/医工学研究科 金井 浩最終講義

医用超音波診断の現状



ヒト心臓の断層像

ヒト頸動脈の断層像

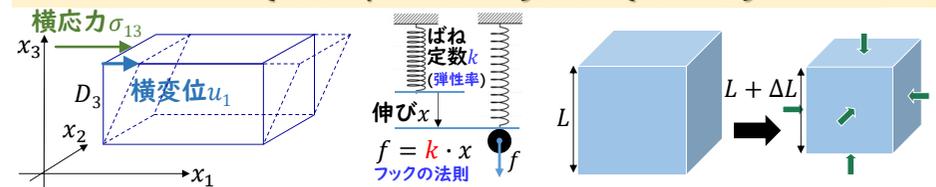
形状・肉眼で確認できる動き(低周波・大振幅)・血流を観察可能で、非常に有用。

しかし、まだ発見されていない情報(高い周波数・微小振幅)がある?
 (例)心筋の収縮機能, 動脈壁の組織性状
 → 1拍内に循環器で生じる変位・振動の伝播を、超音波で新たに計測する。

20

ドップラー効果による
血流速度計測(1982)

圧力と歪み(=伸び/元の長さ), 硬さ(弾性率)と音速



圧力 $\sigma_{13} = 100 \text{ mmHg} = 13 \text{ kPa}$ ずらずと
 横歪み $\gamma_{13} = \frac{u_1 = 1 \text{ mm}}{D = 1 \text{ cm}} = 10\% \cong 10^\circ$

横弾性率 $G = 13 \text{ kPa} / 0.1 = 130 \text{ kPa}$

横波音速 $v_s = \sqrt{\frac{\text{横弾性率 } G}{\text{密度 } \rho}}$

$$= \sqrt{\frac{130 \text{ kPa}}{10^3 \text{ kg/m}^3}} = 11.4 \text{ m/s}$$

立方体を圧力 $\sigma = 13 \text{ kPa}$ で圧縮すると
 体積変化 $3\gamma = 0.00057\%$

非圧縮性

体積弾性率 $\kappa = 2.25 \text{ GPa}$

縦波音速 $v_l = \sqrt{\frac{\text{体積弾性率 } \kappa}{\text{密度 } \rho}}$

$$= \sqrt{\frac{2.25 \text{ GPa}}{10^3 \text{ kg/m}^3}} = 1,500 \text{ m/s}$$

生体軟組織では、縦波伝播速度と横波伝播速度の比が100:1。
 これは、縦波を支配する体積弾性率が水と等しく圧縮されにくい一方、(例)地震波:P波 7km/s, S波 4km/s
 横波を支配する横弾性率は、軟組織のフレームの変形し易さを表すため。

23 生体内の変位・振動(横波)の伝播を、超音波(縦波)で計測できる

本研究の“新規性”

心臓壁内の振動を速度波形 $v(t)$ として計測 (世界初)

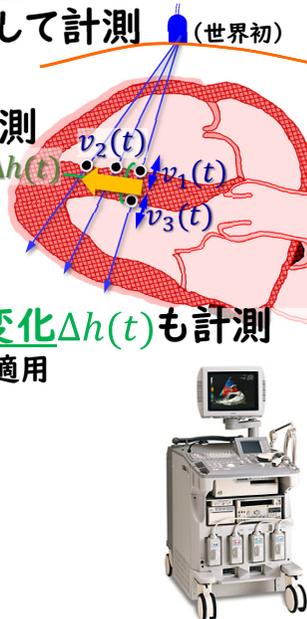
同時に2点の波形 $v_1(t), v_2(t)$ を計測
 その振動の壁内の伝播を可視化 $\Delta h(t)$

速度差から収縮に伴う心筋厚み変化 $\Delta h(t)$ も計測
 (田中元直先生の助言に沿って) 動脈壁にも適用

波形 $v(t)$ の周波数解析も可能

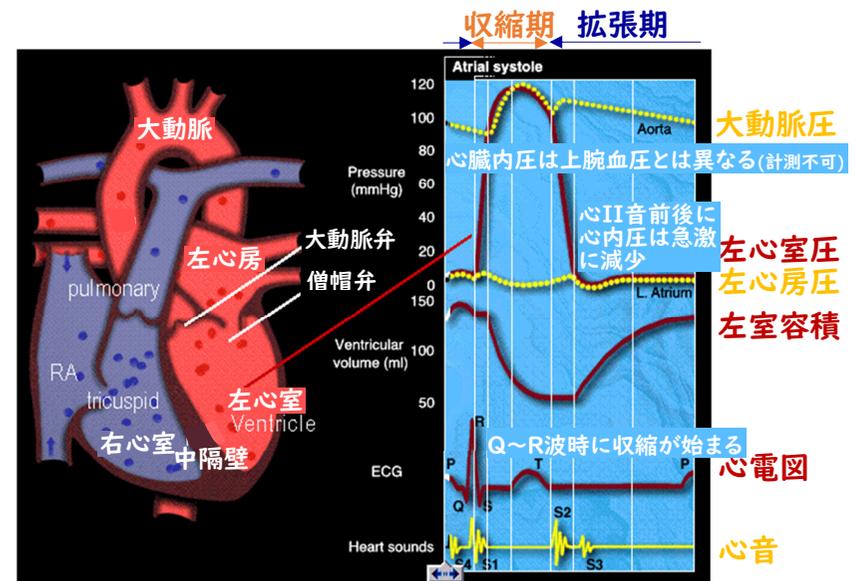
その間の伝達関数 $H_{1 \rightarrow 2}(f)$ も算出
 → 心筋収縮の周波数帯域の同定

心筋収縮に健常者と患者で差異



28

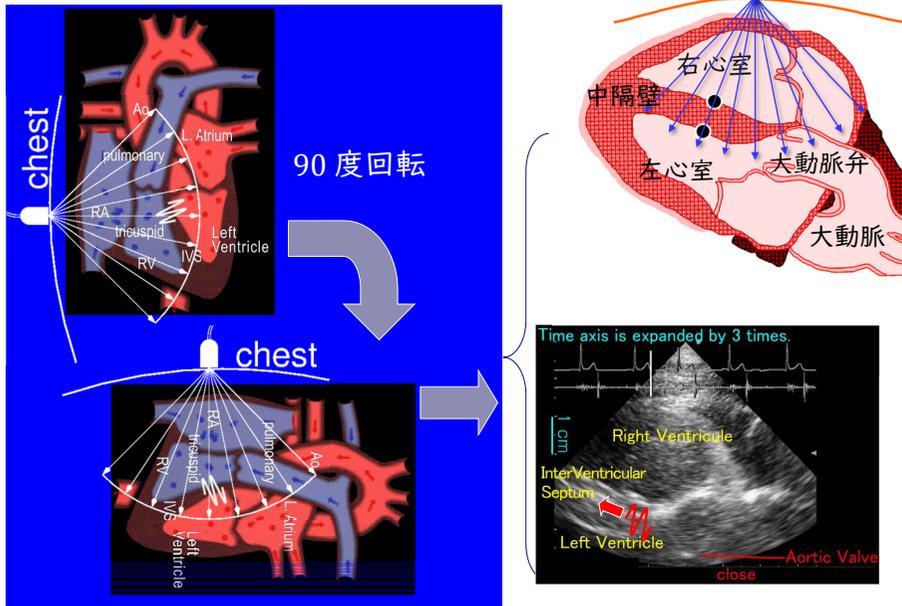
複雑さ: 心臓弁開閉で振動が発生・伝播 心音”lub-dub sequence”



心臓壁を伝播する振動を計測, 伝播速度から壁の弾性・粘性特性を推定

29 Andromeda Medical Science the Cardiac Cycleより

ここでの心臓断層像の表示方向



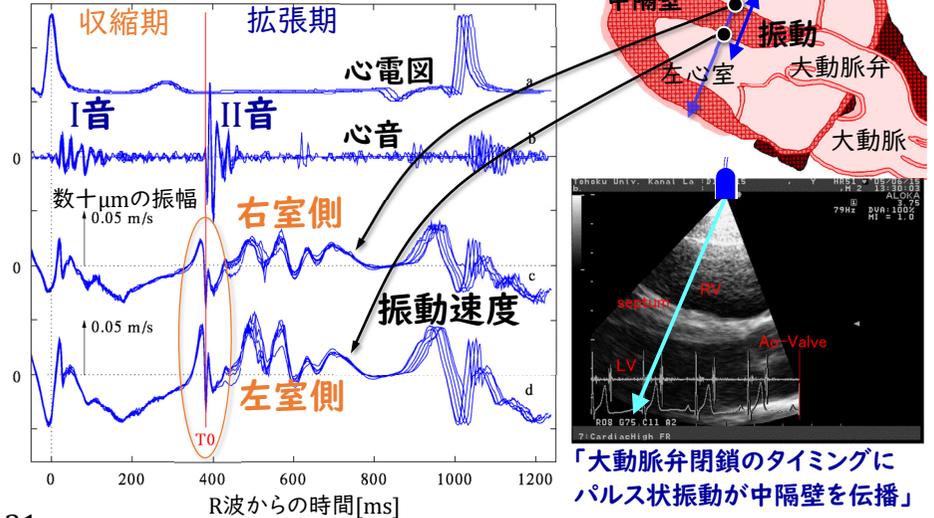
30

東北大学 工学/医工学研究科 金井 浩最終講義

位相差トラッキング法*による心臓壁振動の計測

波形計測精度
速度0.1 mm/s, 変位0.2 μ m,
100Hzまで周波数解析可
数千点同時計測

連続する6拍分を重ね表示



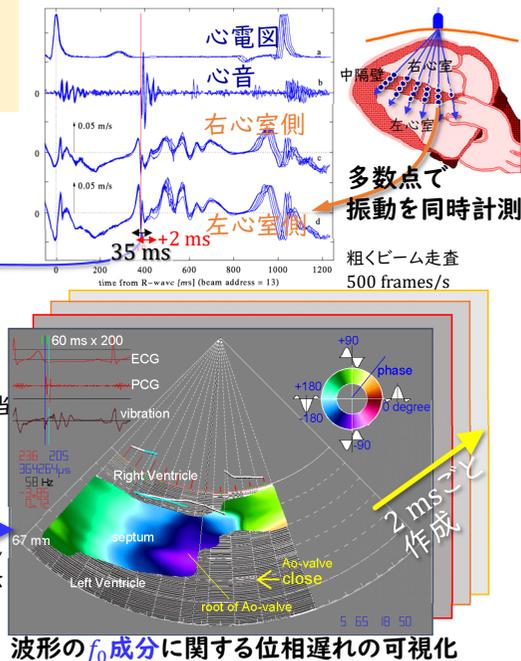
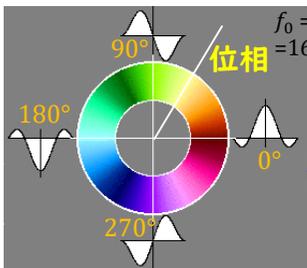
31

* H. Kanai, M. Sato, Y. Koiwai, N. Chubachi. *IEEE Trans. UFFC* 1996; 43: 791-810.

東北大学 工学/医工学研究科 金井 浩最終講義

振動の伝播の動画を作成するため*

短区間フーリエ変換を適用,
特定の周波数成分 f_0 の
位相を検出, 色に変換し表示



35

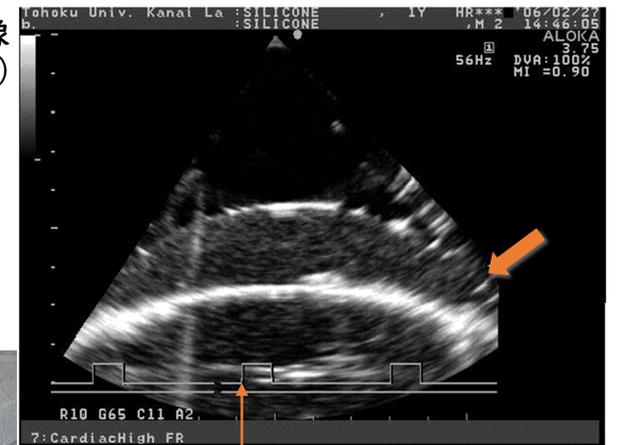
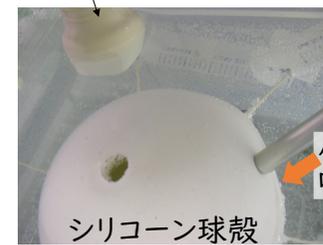
*Kanai, *IEEE Trans. On UFFC*, 2005; UFFC-51: 1931-1942
2001年 第15回日本IBM科学賞受賞『心臓壁に関する高感度超音波計測の研究』

東北大学 工学/医工学研究科 金井 浩最終講義

基礎実験: 水槽中のシリコン球殻を棒で叩く

通常の超音波断層像
(2秒間)

超音波プローブ



小型加振器で叩く

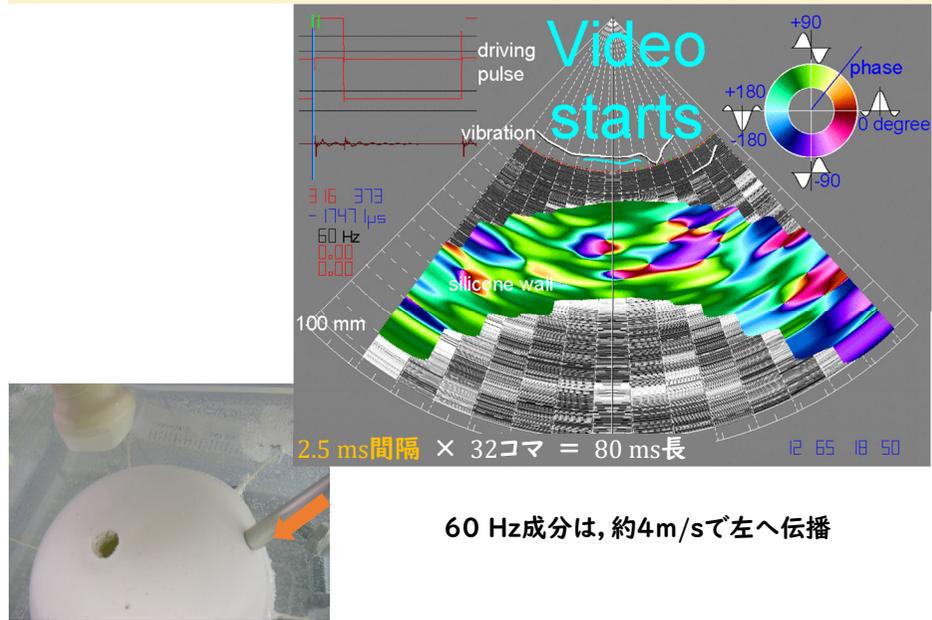
この時刻にパルス状の加振

通常の超音波断層像では、パルス加振による「揺れ」はあるが、振動伝播までは分からない

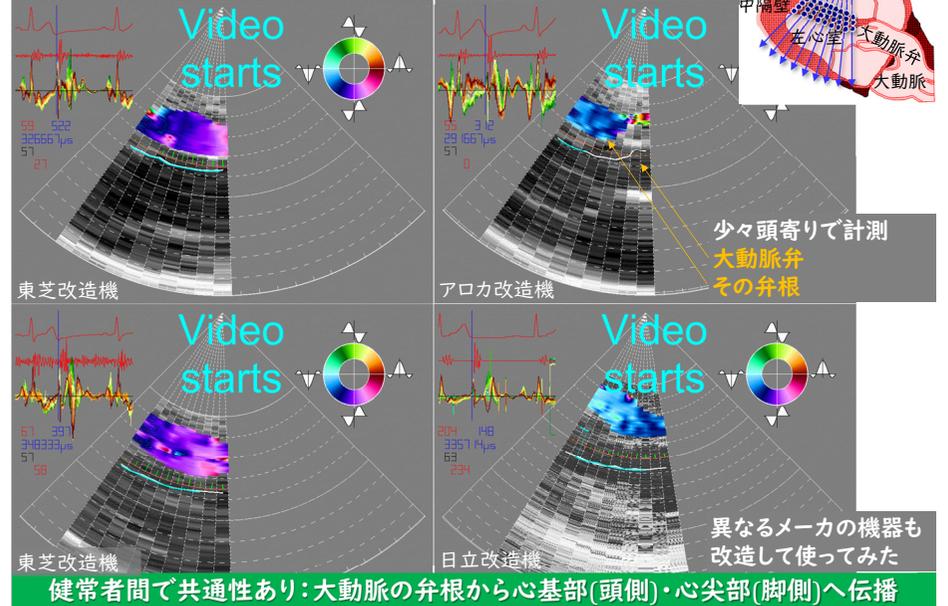
36

東北大学 工学/医工学研究科 金井 浩最終講義

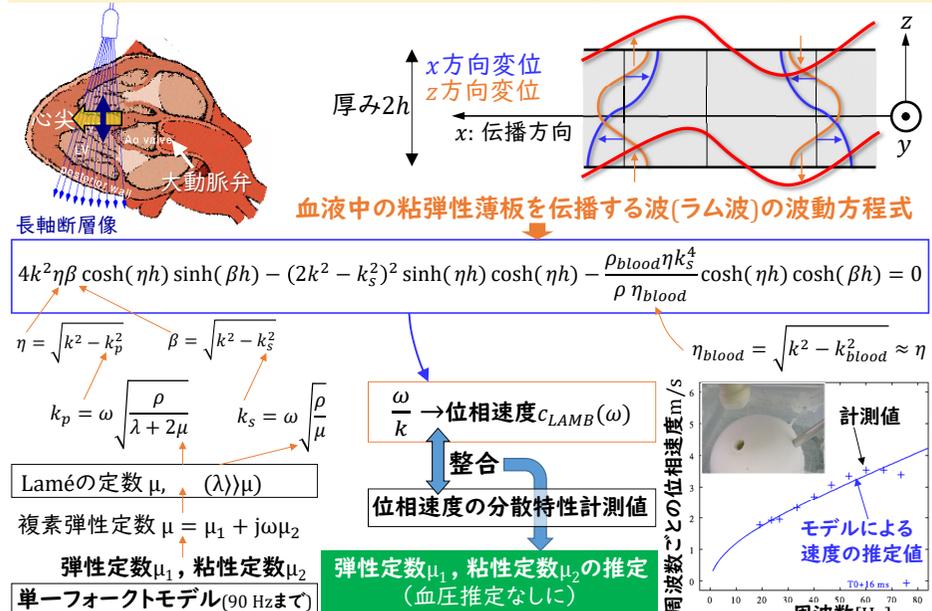
シリコン球殻実験: 各点の振動波形の60Hz成分の位相分布の時間変化



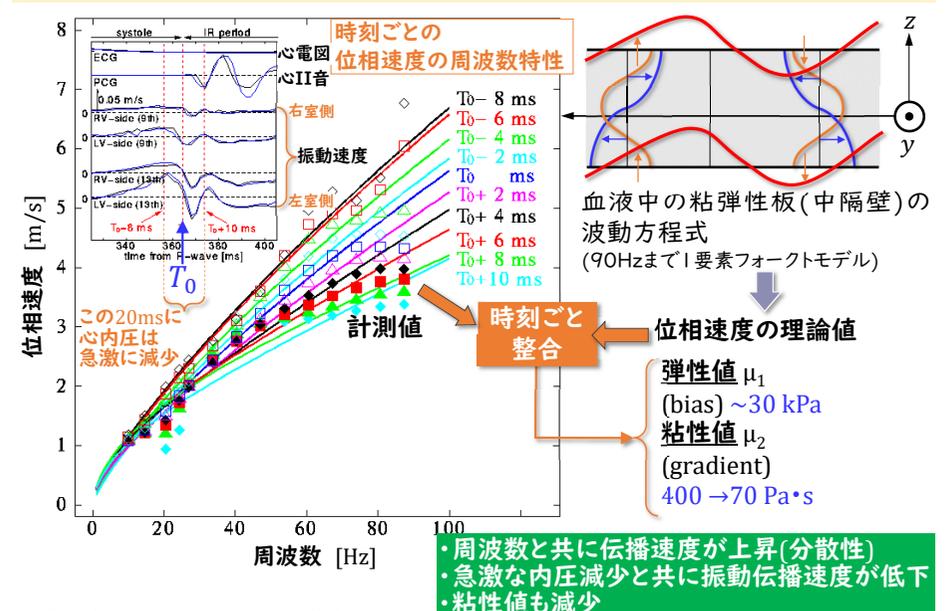
ヒト60Hz成分の位相の時間変化(等容性拡張期, 健常4名)
心II音発生時周辺の(2 ms間隔 × 20コマ =) 40 ms長



モデル化: ラム波伝播 → 弾性定数 μ_1 , 粘性定数 μ_2 の推定

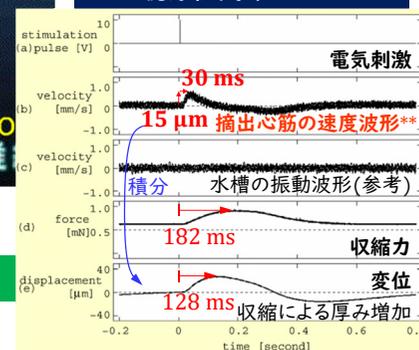
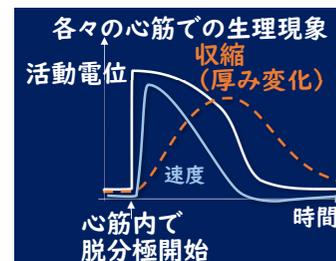
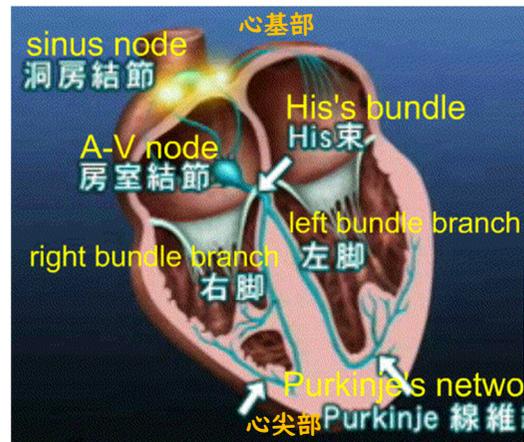


超音波計測された振動伝播速度から 心臓壁の弾性・粘性の推定



電氣的興奮伝播の 超音波による可視化

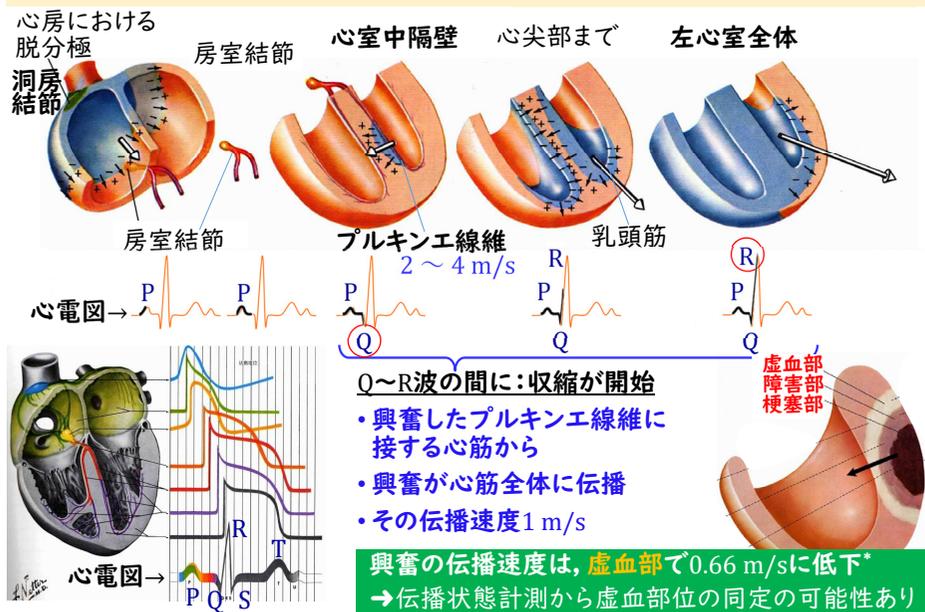
電氣的興奮は、洞房結節で生成され、
プルキンエ線維を通じ(2~4 m/s), 心臓全体に順次伝播



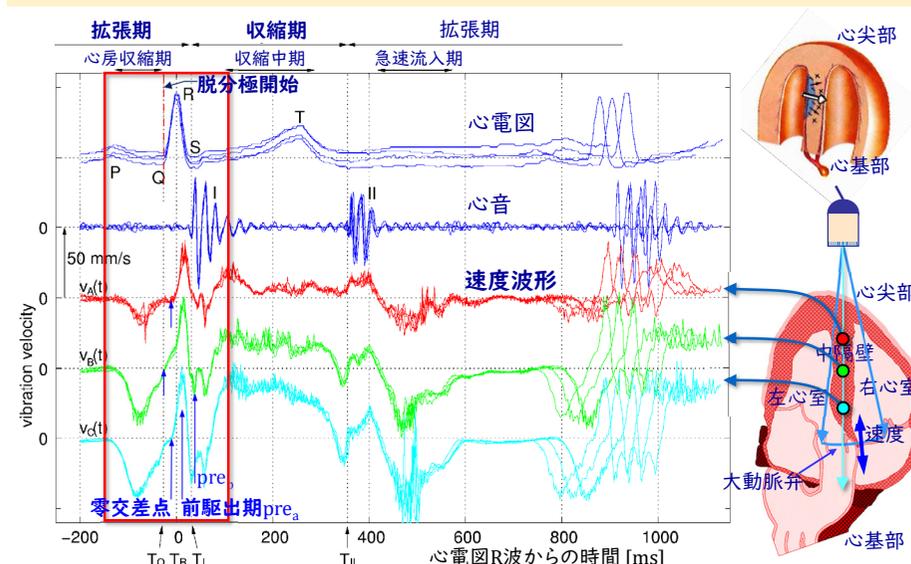
超音波で、心筋の収縮応答(速度)を可視化

* 日本循環器学会監修
* A. M. Katz. *Physiology of the Heart* 2001; 523.
** Kanai, Koikwa, & Honda. *Acoust. Sci. & Tech.* 2003; 24: 17-22

電氣的興奮の心筋内伝播はQ~R波間(開胸した動物の心臓の観察による想像図)

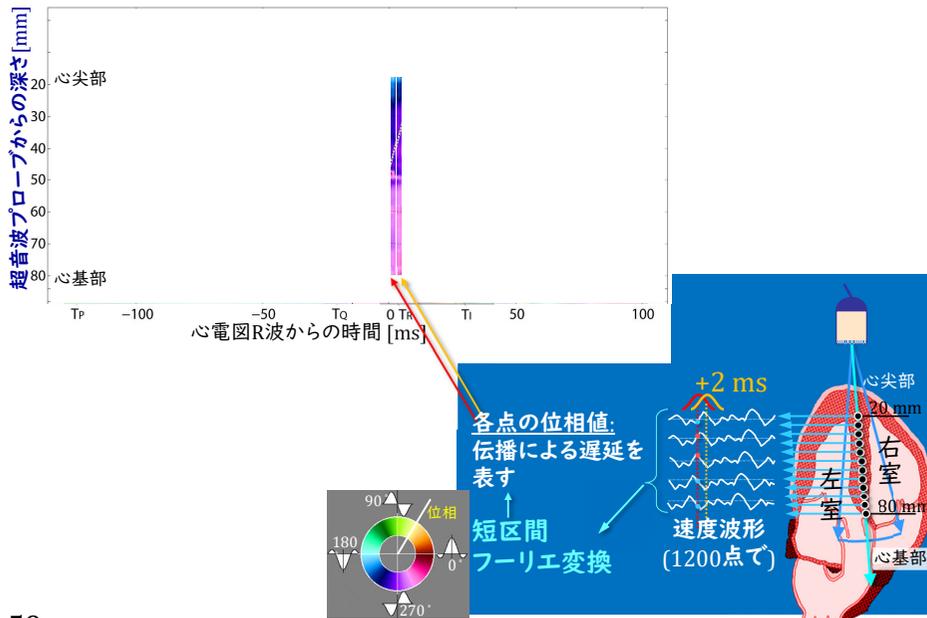


電氣的興奮の計測 心臓壁速度の計測*(健康者, 数千点で同時計測, 連続4拍)



前駆期の速度スパイクの原因と臨床的意義が議論: 心筋収縮→血液を僧帽弁方向へ押す→僧帽弁も押し閉鎖→乳頭筋・腱索が緊張→更なる収縮を阻止→前駆期(Remme, et al. *Circulation* 2008;115:273)
*H. Kanai. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 2009;35:382-394. 前駆期→胸腔内の渦を整え、駆出に備える重要期間

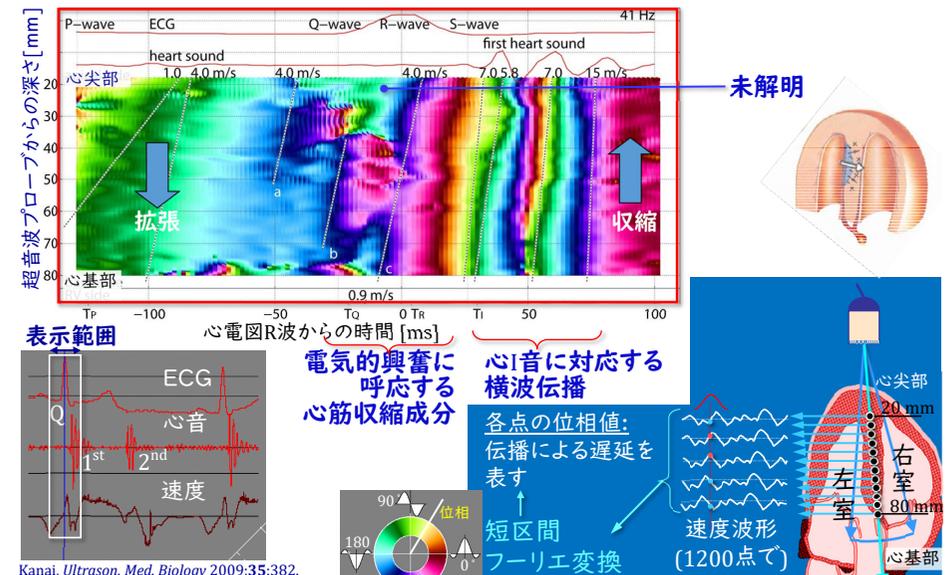
電氣的興奮の計測 振動速度の41Hz成分の位相分布 (健常, 2ms間隔)



59 *H. Kanai. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 2009;35:382-394.

東北大学 工学/医工学部 金井 浩最終講義

電氣的興奮の計測 振動速度の41Hz成分の位相分布 (健常, 2ms間隔)

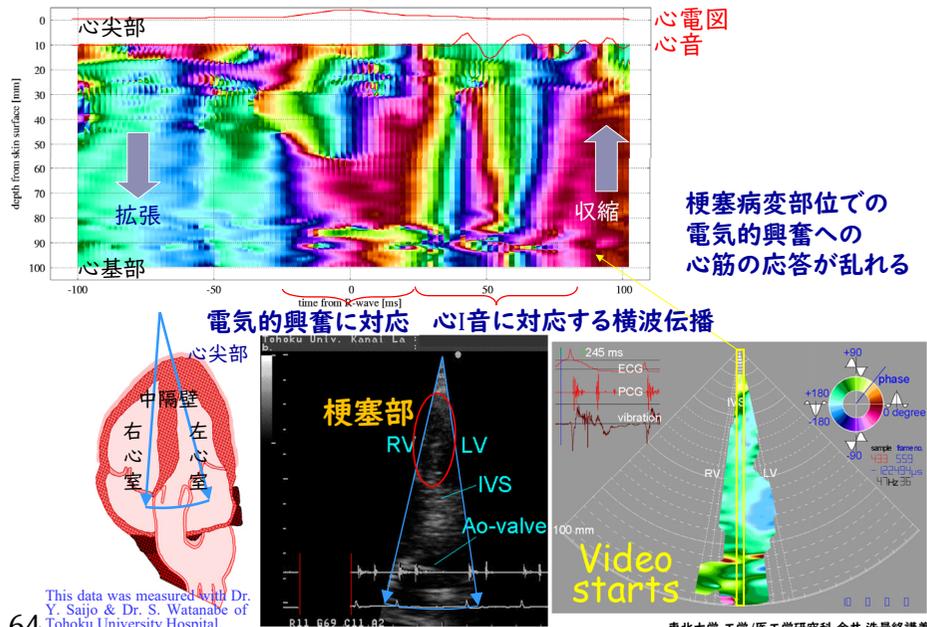


Kanai, *Ultrasound in Medicine & Biology* 2009;35:382.

60

国際会議でベルギーの先生(論文編集者)によるplenary talkでの本研究の紹介を聞いていた日本人が、「誇りに感じた」と伝えてくれた。

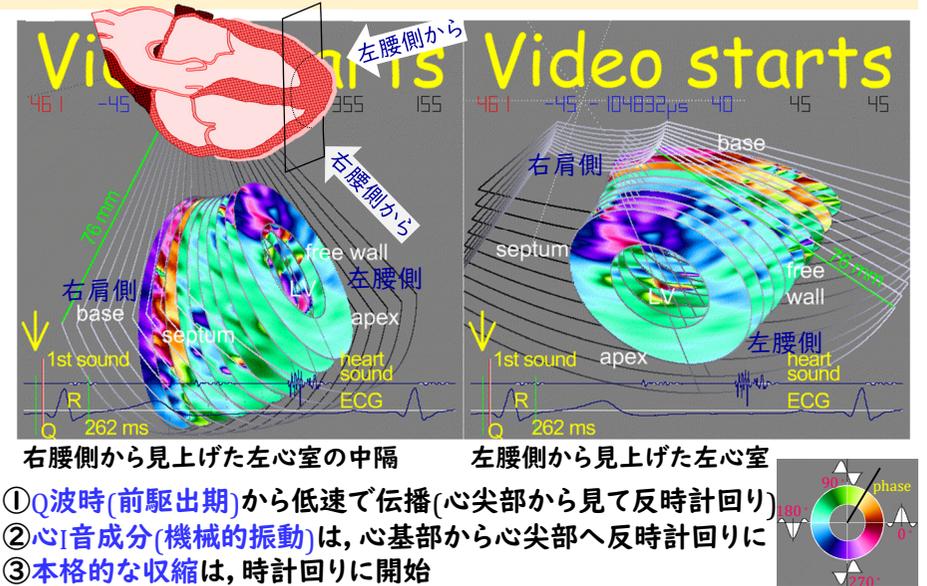
陳旧性心筋梗塞患者 (47Hz位相分布 R波周囲, 2ms間隔) (No.280,433)



64 This data was measured with Dr. Y. Saijo & Dr. S. Watanabe of Tohoku University Hospital.

東北大学 工学/医工学部 金井 浩最終講義

R波周囲での壁振動速度の40Hz成分の位相の3D表示 (健常者A)



右腰側から見上げた左心室の中隔

左腰側から見上げた左心室

- ①Q波時(前駆出期)から低速で伝播(心尖部から見て反時計回り)
- ②心音成分(機械的振動)は, 心基部から心尖部へ反時計回りに
- ③本格的な収縮は, 時計回りに開始

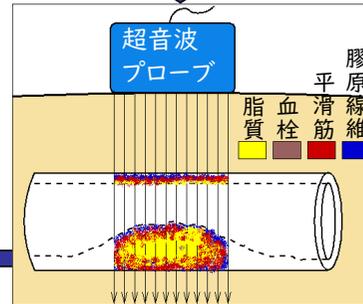
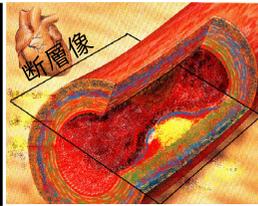
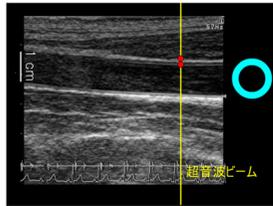
66 誰も見たことのない現象の可視化, 非常に複雑な現象が生じている *Kanai, Ohkouchi, Hasegawa: 2008 IEEE Int'l Ultrasonics Symposium Proc. (Beijing) (invited) 東北大学 工学/医工学部 金井 浩最終講義

動脈壁病変の“電子的染色”

現状:超音波エコー
形態計測が中心

それに対して

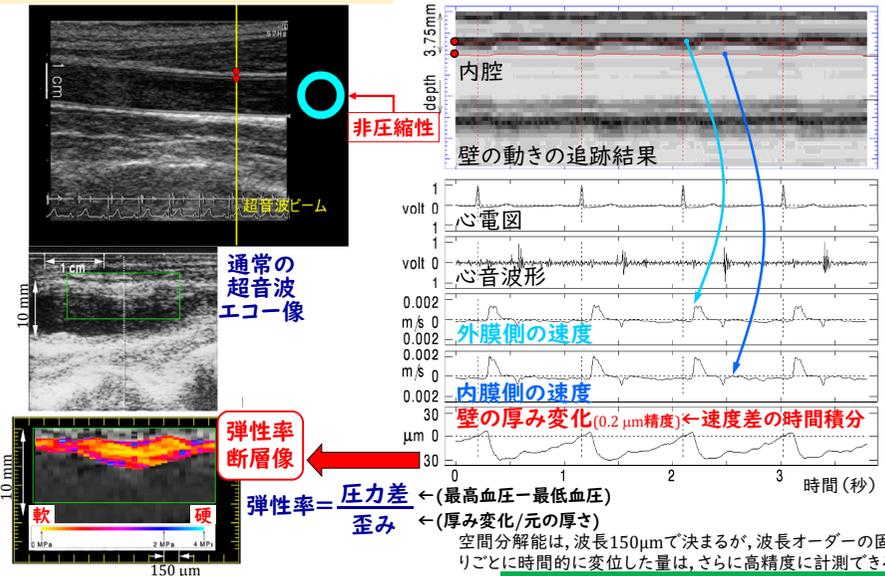
超音波で体外から非侵襲に
断面の組織の種類を同定する



(非侵襲的)「生体顕微鏡」の実現

- ①病変部破綻の危険性予測 → 心血管イベント(急性心筋梗塞・脳梗塞)の予防
- ②治療効果の高精度評価 → 生活習慣の是正・的確な治療選択

頸動脈壁の拍内での厚み変化計測による血管弾性算出



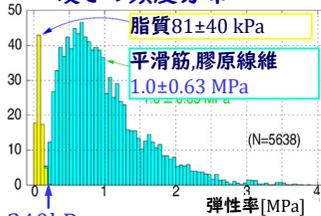
*Hasegawa, Kanai, Hoshimiya, Koiwa, J. Med. Ultrasonics, 2004; 31: 81-90.
*Kanai, Hasegawa, Ichiki, Tezuka, Koiwa. Circulation. 2003; 107: 3018-3021.

→動脈壁の弾性率(硬さ)の断層像の非侵襲的計測が可能

弾性に関する組織同定“電子的染色”

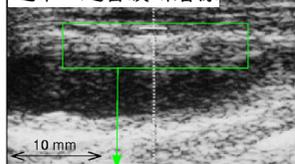
摘出血管(9例10箇所, 染色)の

頻度 硬さの頻度分布

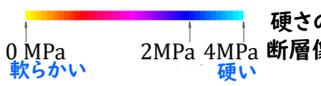
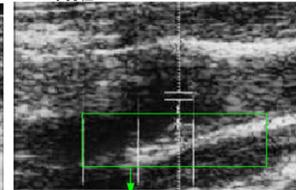


A: 71才男性

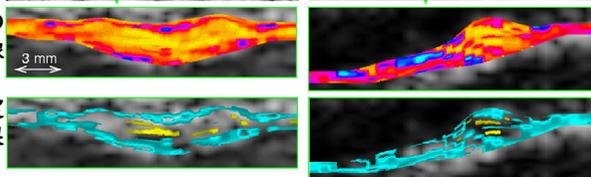
通常超音波断層像



B: 52才男性



組織同定結果



高 平滑筋・膠原線維 低 高 脂質である確率 低

*Hasegawa, Kanai, Hoshimiya, Koiwa, J. Med. Ultrasonics, 2004; 31: 81-90.
*Kanai, Hasegawa, Ichiki, Tezuka, Koiwa. Circulation. 2003; 107: 3018-3021.

75 予め求めた各組織の硬さを参照し、動脈壁病変の内部構造を分類(世界初)

動脈壁弾性特性の超音波計測装置

NEDOの研究開発(→S評価)

@松下通信工業

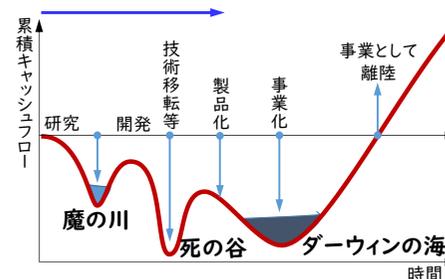
連携メーカー:富士フイルム株式会社

- ・製品化には結び付いたが、事業収益の見通しが得られず、
- ・研究開発から事業化への3つの難所「魔の川・死の谷・ダーウィンの海」のうち、「ダーウィンの海」を渡れなかった。



連携先の医療機関・臨床系研究室:

- ・東北大学医学部糖尿病代謝科
- ・東北公済病院内科
- ・自治医科大学
- ・常陸大宮済生会病院
- ・大迫研究コホート
- ・成人病予防協会
- ・医療法人宏人会



*地域イノベーション戦略支援プログラム「知と医療機器創成宮城県エリア」(後藤順一名誉教授)
研究題目:高精度診断機器開発「超音波エコーによる心筋ダイナミクス計測」

研究室の研究テーマ(1/2)

名前は修了生等,
232件の査読付き論文に第一著者となったもの

工学的検討(心臓, 動脈, 赤血球など)

- 超音波による心筋振動と局所収縮特性, 心筋収縮の伝搬速度の生体計測法(東北大学循環器内科学分野と) [小原, 原, 川又, 菅原, 古澤, 林, 高橋K, 松野, 飛内, 浅井, 高橋H, 浅利, 藤田, 本庄, 志田, 吉新, 長谷川, 勝又, 杉村, 中屋, 佐藤H]
- 超音波による心臓壁の領域同定法 [中原, 高橋H, 衣川]
- 超音波による動脈壁の弾性率計測法と粥腫組織性状診断(東北大学循環器内科学分野, 仙台医療センター, JR仙台病院と) [秋山, 宮地, Ibrahim, 都築, 沼田, 稲垣, 増山, Tang, 中川, 渡辺M, 三田, 砂川, 長谷川, 小沢]
- 脈波伝搬速度の超音波による局所計測(東北大学循環器内科学分野と) [伊藤M, 佐藤M, 長谷川, 砂川, 高野, 近藤, 川辺, 村田, 広瀬]
- 橈骨動脈の同位置での血管径一血圧の超音波計測法と応力・歪み特性と内皮依存性弛緩反応による内皮機能評価(東北大学放射線科と) [鈴木S, 永井, 庄司, 斎藤T, 荒川, 酒井, 池下, 金子, 杉本]
- 頸動脈の内腔の表面粗さの超音波計測(東北大学放射線科, Lund Universityと) [山根, 永井, 北村, 工藤K, 有原]
- 生体内からの散乱波による臓器内音速分布推定 [森, 中山, 阿部K]
- 骨・筋組織からの反射・散乱特性の差異による硬膜外麻酔における胸椎の超音波描出(東北大学麻酔科学・周術期医学分野と) [阪東, 橋本, 横山, 高橋K]
- 超音波の後方散乱特性計測による赤血球集合度評価と血糖値評価(岩手医科大学糖尿病・代謝・内分泌内科分野と) [武山, 東山, 深瀬, 永澤, 榊, 黒川, 福島, 齋藤N]

88 <https://www.ecei.tohoku.ac.jp/~hkanai/publication.html#articles>

東北大学 工学/医工学研究科 金井 浩最終講義

研究室の研究テーマ(2/2)

名前は修了生等,
232件の査読付き論文に第一著者となったもの

- 音響放射圧により生体組織を正弦的に加振し, 生じた微小変位の超音波計測による生体軟組織の粘弾性特性計測 [小松, 川村, 渡辺R, 望月, 鎧, 山口J, 澤田, 小田切, 西尾, 道下]
- 超音波ビームフォーミングによる時間分解能向上 [久津, 高橋H, Ponnle, 阿部Y, 長谷川]
- 超高周波超音波(数百MHz帯域)における組織性状診断 [荒川]
- 生体超音波計測と解析の基礎(東北大学循環器内科学分野と) [森, 川又, 政氏, 瀧, 影山, 鈴木A, 小野寺T, 蛭名, 木村T]
- 超音波による骨の診断(弾性定数と密度の非侵襲計測) [浅井H, 朴]
- 心音/心臓壁振動の解析(東北大循環器内科学分野と) [Hendradi, 中屋, 佐藤M, 穴戸]

医学的臨床応用(循環器領域)

- 超音波によって計測したヒト心筋収縮特性(東北大学循環器内科学分野, 東北医科薬科大学, 宮城学院女子大学と)
- 超音波によって計測した動脈壁の弾性率と粥腫組織性状診断(東北大学医学系研究科, 自治医科大学, 東北公済病院 内科と) [土師, 金子]
- 超音波照射による内皮細胞の増殖促進による虚血心筋の治療(東北大学循環器内科学分野, 医工学研究科と) [大内]

医学的臨床応用(産科領域)

- 超音波によって計測した胎児循環器系の特性(東北大学産婦人科, 宮城こども病院と)

薬学領域への超音波応用(東北大学 薬学研究科と)

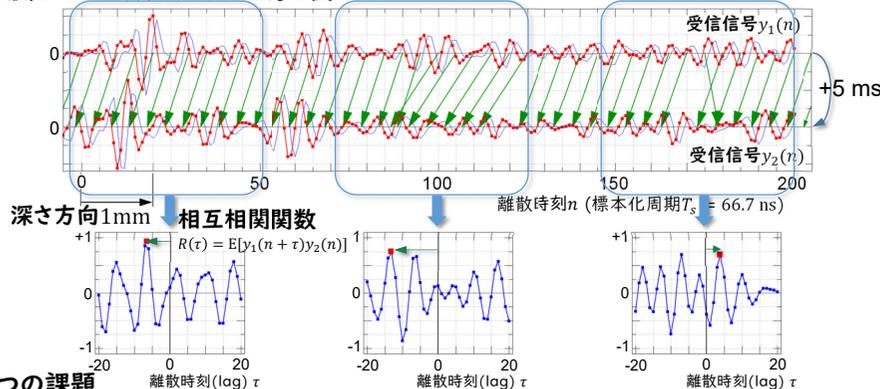
89 <https://www.ecei.tohoku.ac.jp/~hkanai/publication.html#articles>

東北大学 工学/医工学研究科 金井 浩最終講義

成功事例とは別に, 取り組んできた

心臓壁のトラッキングという困難な課題との奮闘(2008年~)

心臓からの超音波の反射波の例



3つの課題

- ①相関関数の先鋭化(狭帯域信号であるため)
- ②局所最適化(1mm)を全体の最適化へ(100mm)
- ③厚み変化を, 2点の速度の差から算出するのではなく, 直接算出へ合理的でシンプルな方法の研究(地味で, 学生には適さない課題)

AIには頼れない

・正解を与えられない問題

「圧倒的に高精度な計測により, 誰も見えていない新しい現象を見つけよう」と信じ, これらの課題を含め (必ず毎週土曜日に実験) × (大震災前後から16年間), 雨降り

90

→組織運営に尽くすには, 時間外に自分の研究時間の確保が不可欠

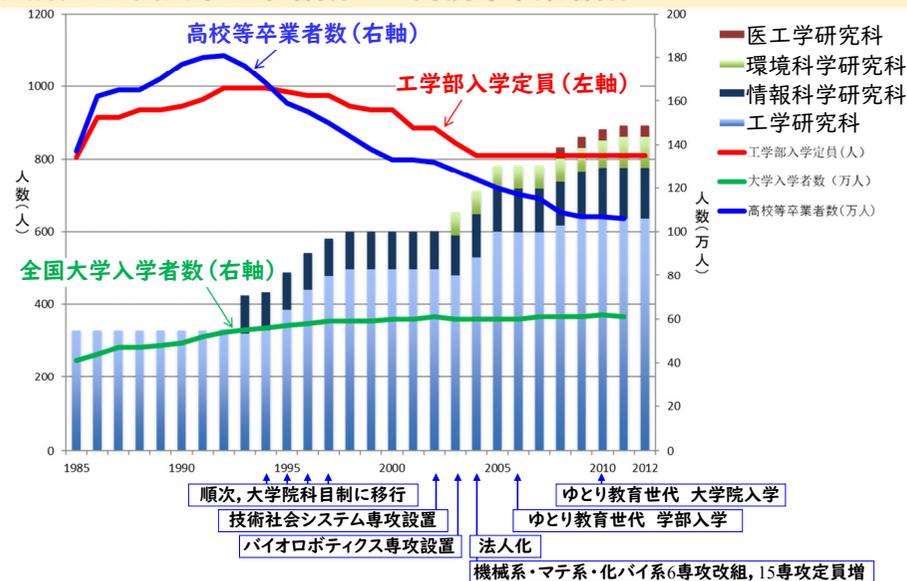
大学での教育

“確立された専門知識を、活用可能な形で修得し、
「新しい価値創造の準備をする」ことにある”

96

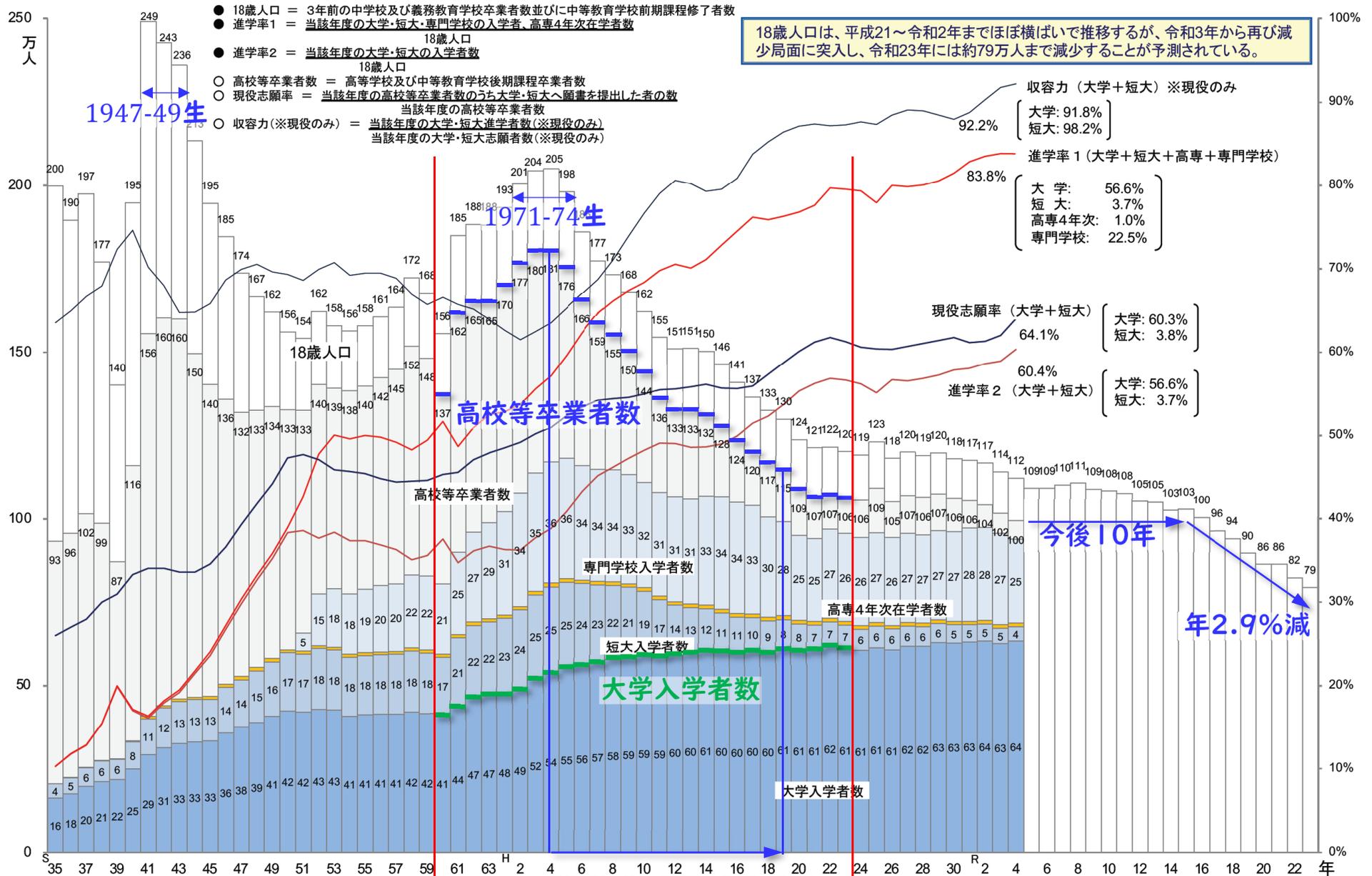
これを実現するための「工学教育院」構想

左縦軸: 東北大学 工学系 四大学院 修士 (収容定員/2) > 工学部入学定員
右縦軸: 全国大学入学者数 ← 高校等卒業者数



97 (大学院定員増, 少子化) → 高等教育の大衆化に対して改革が必要

(補足) 18歳人口, 大学への進学率等の推移



出典: 文部科学省「学校基本統計」。令和5～23年については国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口(令和5年推計)(出生中位・死亡中位)」を基に作成。
 ※進学率、現役志願率については、小数点以下第2位を四捨五入しているため、内訳の計と合計が一致しない場合がある

年2.4%減×14年間=36%減

← 前ページで表示の範囲 →

words to young researchers

The summit you should genuinely challenge will only appear after reaching the highest ones.

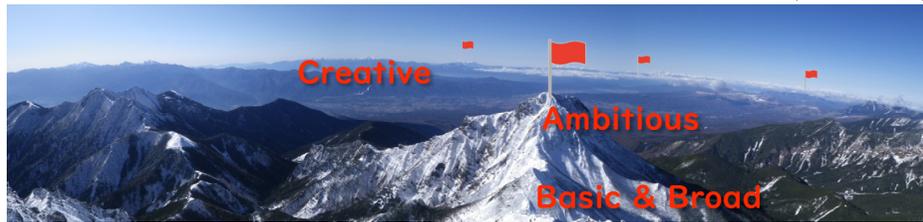
本当に登るべき山(価値)は、
高い山に登らねば見つからない

金井 浩



外交評論家 岡本行夫先生
@トップリーダー特別講義
2014.5.1

欲窮千里目 更上一层楼(王之涣の五言絶句)



ハヶ岳の赤岳頂上から西方向:工学研究科国際交流室Philippe Gaubert特任准教授より。ABCは根岸栄一先生の言葉。

「社会にインパクトある研究拠点」(2015~2017年度) 里見進総長の下

2016年7月29日開設 <http://impact.bureau.tohoku.ac.jp/>

A. 持続可能環境の実現		B. 健康長寿社会の実現		C. 安全安心の実現	
A0 環境価値学	B1 恒常性維持	B2 個別化医療	C1 東洋防災学	C2 創生・インフラ	
A1 地球温暖化	A2 自然共生	B3 認知症ゼロ	B4 口から健康	C3 感染症超克	C4 放射線安全社会
A3 エネルギー	A4 資源循環	B5 人の医薬品			
E. 生命と宇宙が拓く交感する未来へ					
F1 生命の奇跡	F2 宇宙を拓く				
D. 世界から敬愛される国づくり		E. しなやかで心豊かな未来創造		G. 社会の根要に資する大学	
D1 創造日本学	D2 近隣国理解	E1 心の豊かさ	E2 長寿社会	G00 大学の根要	
D3 情報価値学	D4 情報の未来	E3 東北が光に	E4 新産業産業	G01 教育の本源	G02 科学の社会的役割
D5 ものづくり				G03 人と政治	G04 公正社会へ

平成29年(2017年)3月21日
教育研究評議会で理念決定
学内教員約1,000名が参画

グランドデザイン
2014年(研究推進)

研究・開発・実践例
2015年(12月発表)

プロジェクトメンバー賞
2016年(12月発表)

東北大学 工学/医工学研究科 金井 浩最終講義

東北大学「社会にインパクトある研究」理念(1/2)

平成29年(2017年)3月21日 教育研究評議会

現代社会は、物質的豊かさを希求するあまりに地球環境問題を引き起こし、加えて、地球規模での産業構造・社会構造の急激な変動によって、様々な格差を生み出し健全な競争環境を失わせるなど、深刻な混迷状態にある。消費による豊かさや利便性を追求しそのための効率向上を優先したことで、人類が穏やかに自然と共生しながら長年築いてきた共感や連帯という「心の豊かさ」が失われ、その喪失がもたらす苦悩は、ときに過激な排外主義をも生じさせ、多くの人々が将来への不安を覚えるまでになっている。近代化以降、ひたすら成長を求めてきた現代文明は、成長の限界という課題を指摘されて久しいが、今日では「地球や社会の持続可能性」さえ、もはや自明視できない大転換期を迎えている。

これらの問題の根本的な原因のひとつは、人類の幸福に多大に貢献してきた科学技術が、その成果を産業と結び付け社会に広く応用展開するにあたり、ときとして、短期的な視野のもとで当座の利益を優先したことにあるだろう。本来なら、人文社会科学ともども、長期的な観点から後代への広範な影響を考慮すべきであったにもかかわらず、その果たすべき責務が疎かにされてきた。こうして、産業革命以降徐々に累積してきた様々な歪みが、近年になって地球規模で顕在化してきたわけである。科学技術のみならず人文社会科学を含めた学問そのものも、専門性を一層高度化させる傾向にあるが、そのため、それらが応用される社会との隔たりが増大しつつある。こうした深刻な状況にあっても、人類はなお、本来備わる明哲な眼差しとこれまで蓄積してきた学術的な英知を結集し、学問の本来的な意義を絶えず問い続けることを通して、これらの課題解決に当たるほかはない。専門分野を超え、人類社会の全体像を、その将来を含めて俯瞰する、統合的な研究の推進が強く望まれているのである。

東北大学「社会にインパクトある研究」理念(2/2)

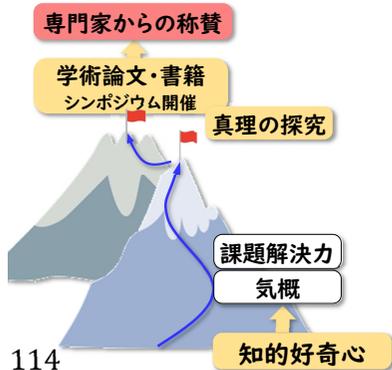
平成29年(2017年)3月21日 教育研究評議会

「人類と社会の発展への貢献」を使命とする東北大学は、従来のように基礎研究を重視するとともに、上に挙げた諸問題の解決に加え、未来を豊かにする創造的課題に真正面から取り組むため、「社会にインパクトある研究」を新たに立ち上げるものである。大学には元来、社会の一員として、公正で夢のある平和な未来社会を創るため、学術を礎として長期的視点から課題の本質的な解決を目指すという使命があるが、それと同時に困難な課題に挑戦する気概と能力と倫理観をもつ人を育成するという責務がある。新しく目指す本研究体制では、こうした科学者の使命と大学の責務を自覚し、長年の基礎研究で培ってきた本学の英知と強みを結集して、これまでの研究体制の不備を見直しつつ、体系的に整理された諸課題に応えるべき個々のプロジェクトの理念を高く掲げ、社会を先導しうる創造的な視点からその実現を図る。

東北大学は、これらのプロジェクトを、研究者個人としてはもとより組織として、また国内外の他学術機関・行政機関・産業界や社会とも連携して、数十年先を見据えて長期的に推進する。そこでは、自然との共生など人類のあるべき姿を根源的に探究するとともに、新たな、また日本ならではの価値観・世界観をも創出し、その成果を、まず人口減少著しい地元東北へと普及浸透させるとともに、さらには日本から世界へと展開し、世代を超えてその意義を伝え、「持続可能で心豊かな社会」を創造し、新たな文明の構築を目指すものである。

多くの議論を下に纏めると: **社会課題解決への“挑戦”の構図 1/4**
 “従来の研究”

従来の研究



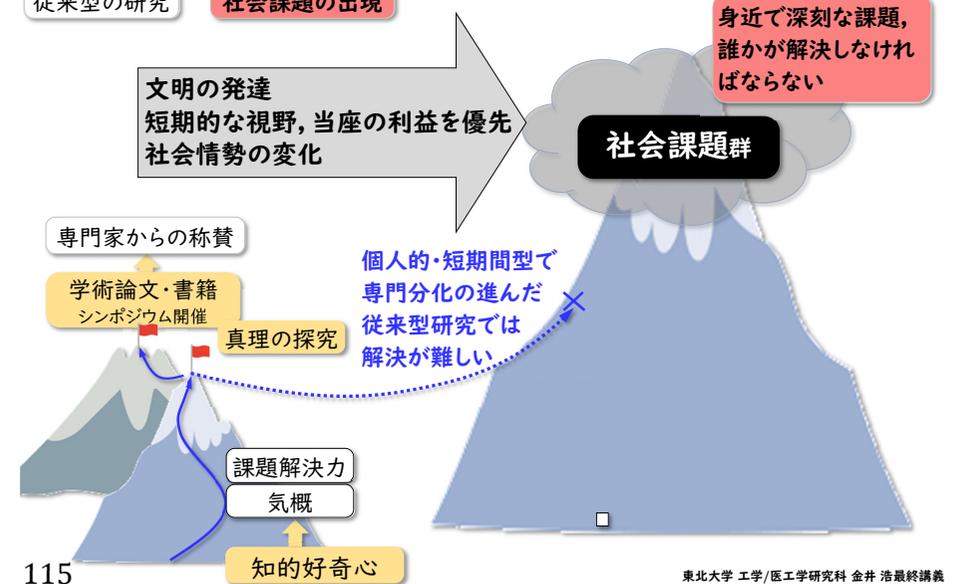
114

東北大学 工学/医工学研究科 金井 浩最終講義

社会課題解決への“挑戦”の構図 2/4
 “社会課題に対し、従来の研究推進では解決が難しい”

従来の研究

社会課題の出現

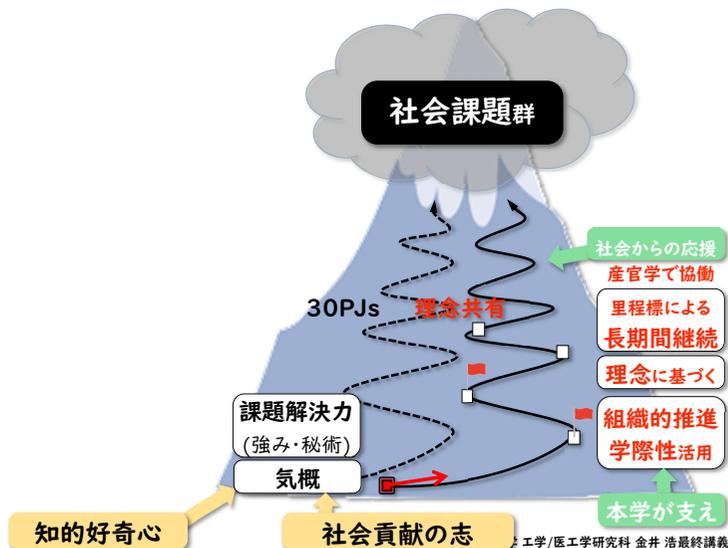


115

東北大学 工学/医工学研究科 金井 浩最終講義

社会課題解決への“挑戦”の構図 3/4
 “社会にインパクトある研究”の新しい推進

社会課題の出現 → インパクトある研究

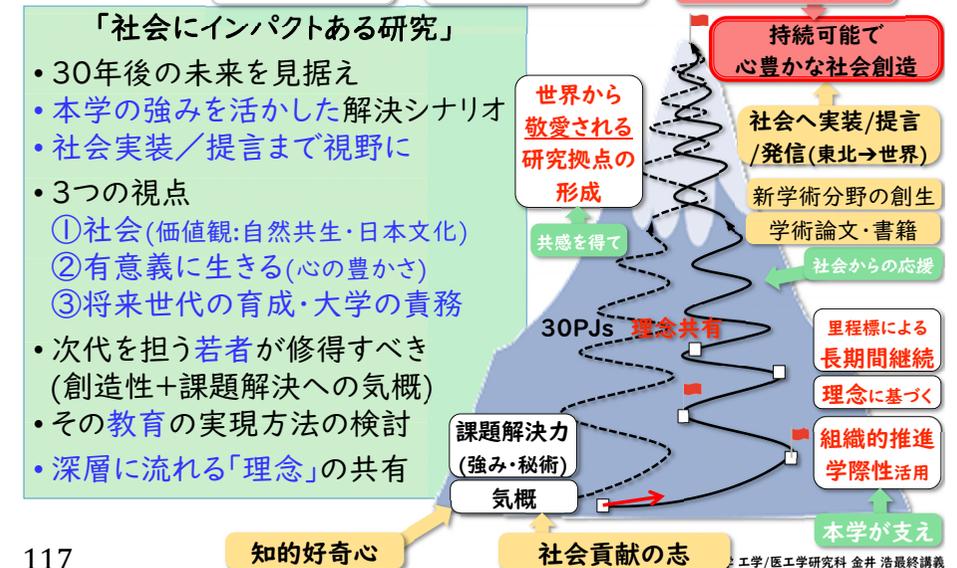


116

工学/医工学研究科 金井 浩最終講義

社会課題解決への“挑戦”の構図 4/4
 “持続可能で心豊かな社会創造”

社会課題の出現 → インパクトある研究 → 社会課題の解決



117

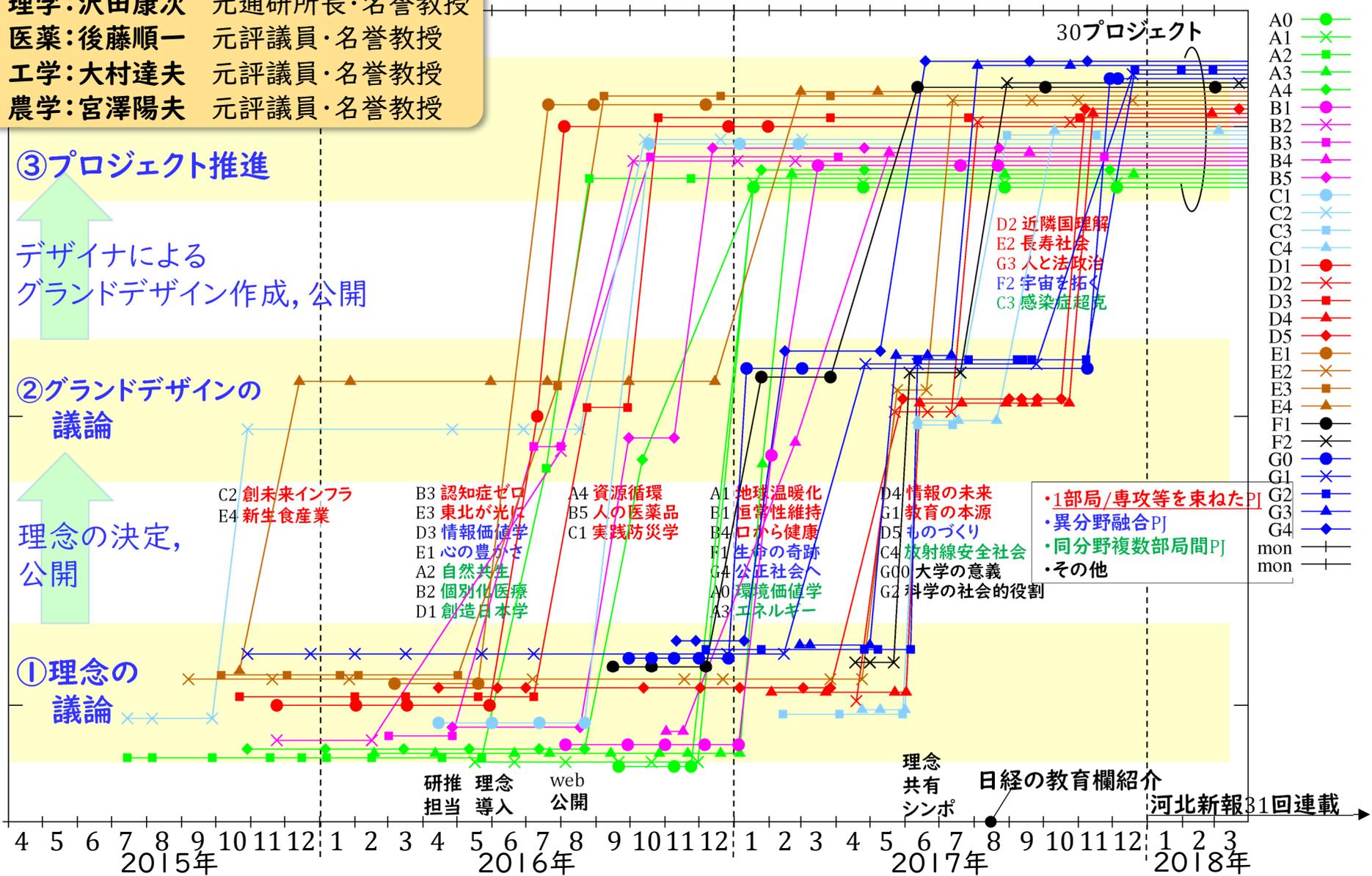
工学/医工学研究科 金井 浩最終講義

アドバイザーチーム

文学:座小田豊 元評議員・名誉教授
 経済:細谷雄三 元評議員・名誉教授
 理学:沢田康次 元通研所長・名誉教授
 医薬:後藤順一 元評議員・名誉教授
 工学:大村達夫 元評議員・名誉教授
 農学:宮澤陽夫 元評議員・名誉教授

30のプロジェクト(PJ)の立ち上げ (2015-2017年度)

各●×▲点が推進室会議 開催約278回/2年半



113 各PJを担う先生方と共に、「理念作り」に多くの時間を掛け議論し、ビジョン作成

社会にインパクトある研究

社会課題(暗雲)の解決のため約30のプロジェクト推進(水滴の浄化)を通じて「持続可能で心豊かな社会」の大輪を咲かせる

- 巨大災害に対する文明の脆弱化
- 大量の社会インフラ老朽化
- 感染症蔓延の脅威
- 放射線のリスク

- 国際紛争の増加
- 進展しない近隣諸国との相互理解
- 扱えないほどの情報量の爆発
- 情報技術の無制限な発展への不安
- グローバル化によるものづくり低迷 貿易のあり方

- 高齢化進行と健康意識の高まり
- 社会保障の諸課題
- 医療格差の顕在化
- 認知症の社会問題化
- 新たな疾病の脅威

- 現代文明の持続性の危機
- 地球温暖化
- 自然環境の劣化
- エネルギー消費増大
- 資源枯渇の危機

人類が直面する深刻な課題
(科学技術との調和、文明の衝突、格差) 債務危機

- PJ代表が 工学系(9)
- 人文社会系(10)

■ 人類社会の枢要に資する大学の役割とは

■ 持続可能で心豊かな社会創造に気概をもつ人の育成には



物質的豊かとは異なる
「心の豊かさ」の本質とは

- 一極集中
- 少子化・人口問題
- 地方消滅の危機
- 地方農業の存続危機

- 生命の秘儀
- 宇宙へのフロンティア

融合の大切さを踏まえ

東北大学

<http://impact.bureau.tohoku.ac.jp/>

- ・「社会にインパクトある研究」「トップダウン的である」との誤解も受け易い。
- ・討論会を継続的に開催: **多分野から議論を深めた**(工学系, 哲学, 経済学, 社会学, 民俗学, 環境, 医学, 医工学, 農学)
- ① **社会課題解決への“動機付け”**をどう育むか
- ② **“賢明な人”**をどう育成(教育)するか

明治期に欧米へのキャッチアップを目的として導入された大学教育は, 目的を達成したと見なされ, 1991年以降, 教養部の廃止。

- ・ **教養教育の軽視は, 重要な手段の一つを喪失した*****と言われる。
- ・ 社会課題解決のためには, 学問間の真の融合を進める「**仕組み作り**」も必要。

専門知識と教養は役に立つ位相が異なる。**

- ・ **専門教育は, 問題とその解決方法が明確な, 秩序の時代には有効(~1990年)。**しかし, 狭い専門性では, 危機対応能力が弱い。
- ・ **教養教育は, 平穏な日常では役立たないが, 何らかの形で前提が崩れた時, 先例にはない深い洞察, 非定型的な判断のできる人を育てる**。**

* 瀬名秀明, 渡辺政隆, 押谷 仁, 小坂 健「知の統合は可能か: パンデミックに突きつけられた問い」野家啓一 p. 96,

** 花輪公雄, 東北大学教養教育院叢書 大学と教養4 多様性と異文化理解 第4章教養教育における多様性の問題。

*** 猪木武徳, 大学の反省, p.134, 170.

1968年立地計画:

海面からの設置高さに関する侃々諤々の社内議論で, 当初3mに対し, 元東北電力副社長 **平井弥之助**(柴田町出身, 東大土木卒, 1902-1986)が, 1200年前の貞観大津波への準備を**唯一人強硬に主張**。②専門知識
自分の意見を, 津波高さの客観データの積上げで裏付け ③課題解決能力

→主要施設は海面から
14.8 mもの高さに設置
震災→津波の高さは**13 m**
震災→**1 m**地盤沈下
→**80 cm**に救われた



気概・情熱

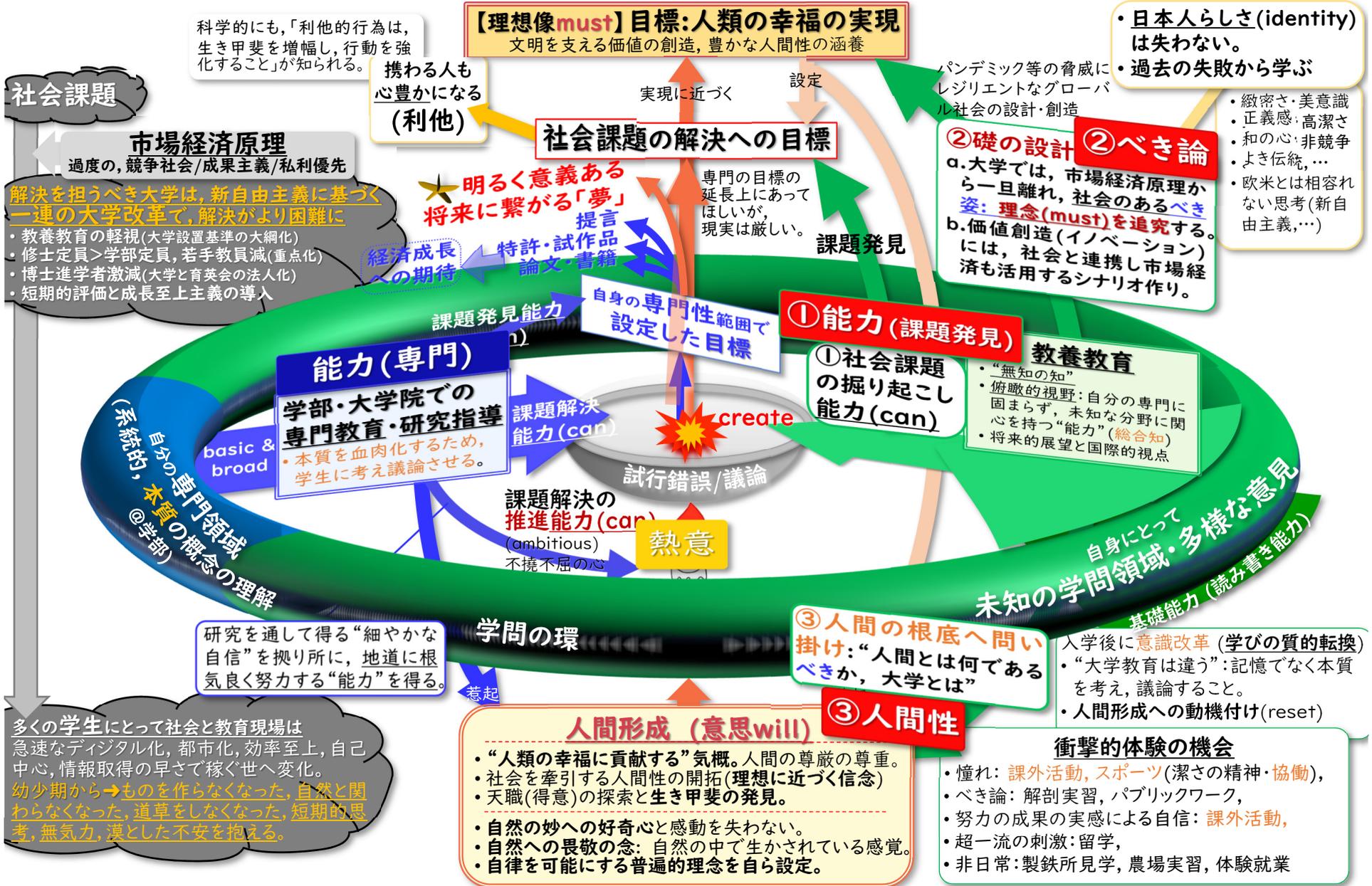


組織において法令が策定されると, その規範が守るべき上限になる。しかし, 法令(常識)は遵守すべき最低限の規範であることを自覚し, 法令や科学の不確実性に含まれる本質的な課題を常に自らに問い, 専門家としての結果責任を全うする。

※大島達治「技術放談: 結果責任を負う事業経営者のあり方」2011年7月25日

※佐藤 清「技術者と経営者の社会的責任に関する一考察」日本地震工学会誌 No.17, pp.26-31, 2012.

議論を纏めて **大学教育を深化させ、自律的に思考する人を増やし“持続可能で心豊かな社会”実現**
 ~“未来の社会を創る”ための、大学での専門教育と教養教育の位置づけ~



次世代の育成, 国づくり, 社会貢献, 文明への貢献 (真理の探究)

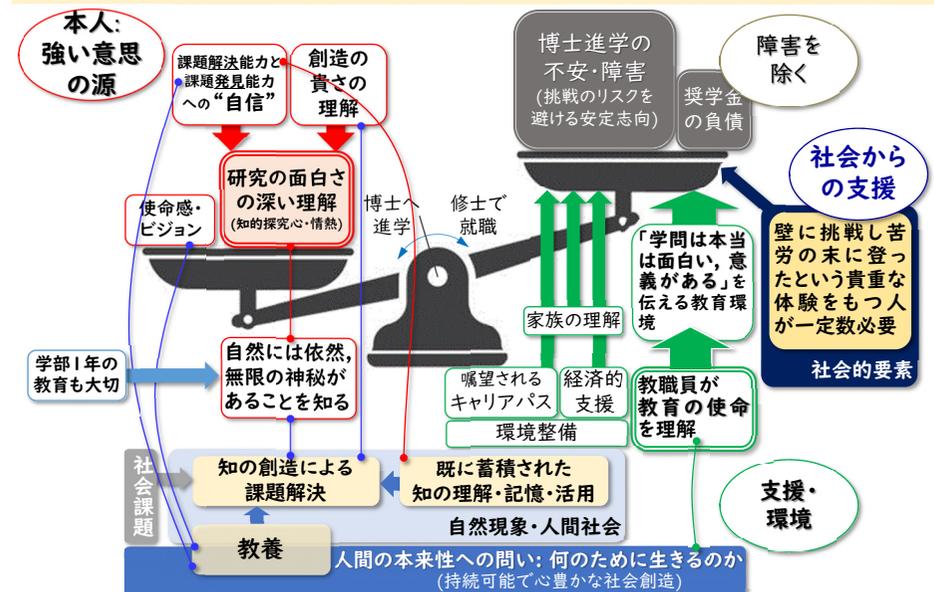
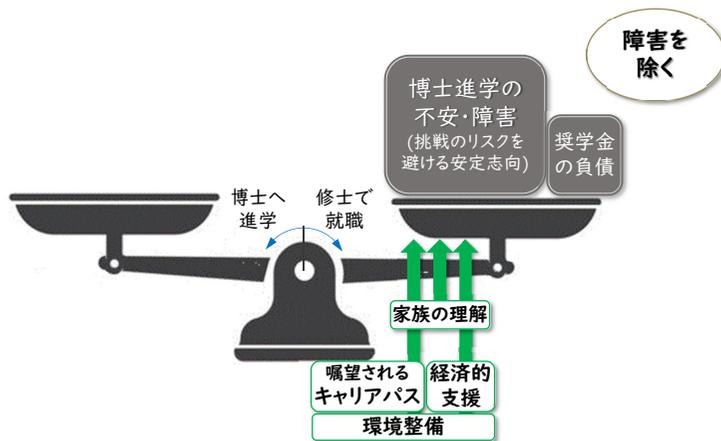
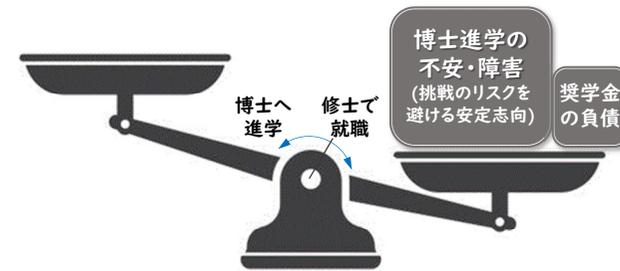
- 学士・修士育成…課題解決能力+人間性の形成
- 博士の育成……課題発見能力, 壁に挑戦・何とか成功した経験
- 研究……価値創造/社会貢献の信念の下, 課題発見・解決

真っ当な教育・優れた研究には

- 教員と組織の高潔さ・公正さ・倫理観・使命感 (清浄な空気)
- 困難に挑戦する人を暖かく見守る, 大学と社会の雰囲気づくり
- **研究第一主義**: (research excellenceは当然) → 教育理念: 他を参考にできない最先端研究で得る貴重な体験 → 絶対に諦めない信念と解決能力を付ける
- **実学尊重**: 社会実装を視野に入れた, 本質・真理の探究 (強い特許出願)
- (意識の) **門戸開放**: 多様性を活かすため, 互いが信頼し, 持つ情報を開示し, 議論し, さらなる向上を目指す謙虚さ・誠実さ (歴史的にも, 専制政治より民主主義が妥当とされてきた)。

繰り返しますが

134 最終的に, “**社会から敬愛されるか**” が, 大学の評価尺度



俯瞰すると, “**研究の面白さ・醍醐味**” への深い理解が本質ではないか。

確かに生理学的には、学習により脳機能の活性化

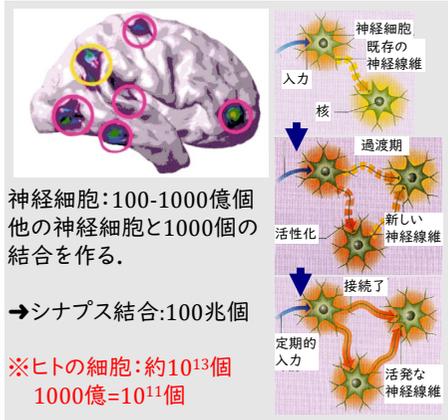
学習は、生理的には
神経細胞どうしを
新たな神経接続(シナプス)で接続する作業

→ 神経細胞の密度 ↑ (○部分)

神経細胞間接続(シナプス) ↑

(例)実験レポート:

- 読む, 見る, 聞く(受動的)
- 書く, 話す, 調べる, 考える(能動的)
 - 多方向からの刺激が重要
 - すべてが化学反応で支配



すべて脳内の生理学的現象のはず。
「継続的訓練」により能力や情熱を高めることができるだろう。(例)“漢字の学習の定着”
しかし、各々いかなる訓練をすれば良いかは未解明。

→ 好奇心を原動力にすることが糸口。

④語学

・記憶する力.....

①基礎知識

・理解・活用する力.....

②専門知識

・創造する力, 感性.....

⑤価値創造力

・努力の持続力.....

③課題解決能力

・情熱.....

④気概・情熱

教育と研究指導の究極の目標は、



「仕事は、本当に面白い」

を心からお伝えいただくこと。

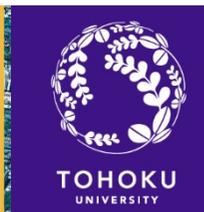
学問とは...確立された古典の理解・記憶だけではなく、新しい価値の創造。
“面白い”域に達するのは容易ではないが、「面白い」ことが、強力な推進力となる。

※名人は、自分の学問をどんなに究めても、その先に更に究めるべき深い理の世界の広がりが見えてくる(無限の神秘)...今後も目指したい

そして、教育の根本は学問を通しての「人間の芯の形成」(倫理観・使命感・情熱)の後押し



東北大学工学部・青葉山キャンパス(2003年頃)



東北大学の「懐の深さ」に育てられたこと、心から謝意を表します。
特に教授昇任後も実験を続けること、融合研究を目指した議論の大切さをご教示頂いた。

本日はご清聴に感謝します。遠方よりご出席頂きありがとうございます。
最後に、皆様、修了生、東北大学の益々のご健勝・ご発展を祈念します。

2024年(令和6年)3月8日 金井 浩



金井 浩 教授 (かないひろし)

電子工学専攻

金井浩先生は、昭和33年11月29日に長野県に生まれ、昭和56年3月東北大学工学部通信工学科を卒業され、昭和61年3月東北大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士後期3年の課程を修了され、東北大学助手、講師、助教授を経て平成13年3月に同大学教授に昇任されました。

電子計測工学、音響工学、超音波工学の教育において金井先生は、電気計測学（平成3年）と情報計測学などの講義を担当され、「音・振動のスペクトル解析」などの書籍を執筆し講義に役立てて来られました。

超音波医学の研究において金井先生は、超音波エコーの反射波の位相を用い、収縮弛緩や血圧変化に伴って心筋・動脈壁で1心拍内に生じる数ミクロンの僅かな厚み変化を高精度に計測し、心筋機能や動脈壁の硬さを層別に評価できる画期的手法を世界に先駆けて開発されました。特に心臓収縮初期に興奮伝導に伴って心筋に微小な応答が生じそれが心臓壁に沿って伝播する現象を、世界で初めて超音波によって描出されました。さらに心筋虚血後の数秒の僅かな時間に、その興奮伝導速度が半減することも超音波計測によって見出されました。このように金井先生は、世界的に極めて高い水準のオリジナリティある成果を次々に創出され、循環器医学の学術分野の生体計測の発展に先駆的な貢献を果たされました。

金井先生は、日本超音波医学会理事（平成14）、同編集委員長（平成24～30年）、同東北地方会事務局長（平成11年から25年間）、同第93回学術集會会会長を務められ、超音波医学の普及に貢献されました。また、IEEE Intl Ultrasonic Symposium, Technical Program Committee（平成10年～令和4年）、IEEB 超音波論文誌, Associate Editor（平成24～令和5年）、日本音響学会理事（平成11～25年）、同副会会長を歴任

され、超音波工学・音響工学の学術向上にも貢献されました。学内では、副研究科長として（平成21年4月～24年3月）、工学系研究科の東日本大震災復興担当責任者になり、大きな被害を被った青葉山キャンパスで、仮設校舎を設営し10月からの後期講義に間に合わせ、被災3系研究棟が改築となるように努めるなど、復旧・復興に尽力されました。

次いで研究科長・工学部長として（平成24年4月～27年3月）、教員へのアンケートでの意見などを整理して「改革推進の課題」を約200項目にわたり設定し、研究科内の知を集めて在任3年間で約70%を達成されました。代表例としては、【工学教育院設立】（概算要求が採択）単位制とは別に各学年終了時に一斉試験を実施することで学年末に年間の総復習を奨励。【学生留学派遣】1学年の15%分（約130名）の海外留学・派遣を工学部の年間達成目標に設定。【Lectures創設】年2回発行し、海外の高校・協定大学、帰国した留学生へ送付。【若手教員海外派遣】平成25年度から10年間で若い教員100人を長期留学させる計画を立案・推進。【科学研究費採択】専攻ごとの採択課題を官制順で冊子に纏めて全教員に配布。また、申請書の個別指導、採択申請書類閲覧も平成25年度から実施。【教員の時間確保】学内での点在する事務手続きへ要求ベースで誘導する研究科独自の事務ナビを設計・導入。土曜日を含め連続した研究時間の確保のため、原則金曜日は会議を行わないと決定。お盆の一斉休暇を1週間に延ばし夏季休暇と合わせ最長で12日間の休みを可能とした。大学院入試を8月末に遅らせ、研究と教育準備にも活用できる纏まった期間と設定。【教職協働】事務職員を各委員会の副委員長へ登用。【セーフティネット整備】幾層にも相談出来る体制を構築。ハラスメント相談窓口・カ



ウンゼリングルーム等の環境を整備。従来からの教育相談室に加え学生支援室を設置。工学系女性研究者育成支援推進室（ALICE）設置。本学学生の大学病院での診療受入れ。【青葉山グラウンド】建設資材置き場に使われた後、駐車場になつていた青葉山グラウンドを地下鉄開業に合わせて復活させることを決定（平成26年9月教授会）。【環境整備】3号道路歩道拡張の整備を順次推進。附属図書館工学分館にラーニング・コモンズを設置。雪かきポストの設置。オープンキャンパス前の一斉清掃とビール祭り開催。中央棟前に石碑設置。青葉山での信号の歩車分離。

その後、副学長（研究力強化・機構改革担当）として（平成27年4月～30年3月）、現代社会が抱える深刻な諸問題を本学が網羅的に解決するために「社会にインパクトある研究」を立ち上げられました。環境、エネルギー、資源、医療、防災、インフラ、感染症、心の豊かさ、農学、大学など、30分野で各々の社会的課題を担う研究者を学内から結集し学際的なプロジェクト群を新たに興されました。

その後、工学研究科先端学術融合工学研究機構 社会インパクト推進ユニット長として引き続き「社会にインパクトある研究」討論会等を主宰して来られました。

以上のように、金井先生は、電子計測工学及び超音波工学分野の教育・研究・普及、東日本大震災からの復興、大学運営、社会課題の解決のための組織運営に尽くされました。

最後に、これまでの先生のご指導に感謝いたしますとともに、今後の先生の益々のご活躍とご健勝をお祈り申し上げます。（医工学研究科 准教授 荒川元孝）