地震工学委員会特別講演 平成29年9月6日 於 土木学会 会議室

# 尽きない驚愕

#### 一想定力の欠如と驚きの連続一

#### (現役時代は知らなかった、驚いたとは言い難かった)

## 京都大学名誉教授 土木学会名誉会員 家村浩和

# お悔やみと感謝

 現在までの大震災で、被災された多くの人び とに、心よりお悔やみ申し上げます。

一方、被害を受けられた方々の救助、復旧のために働いて来ておられる、政府、自治体など皆様、また、国境を越えて協力いただいたは様、自ら協力していただいているボランチアの皆様方に、熱く感謝いたします。

# この講演で考えたいこと

- ・世界の地震・津波被害は、想定外の連続
   ・地震・津波の場所・大きさ・強さ、発生時刻、 被害の程度の予測は、簡単ではない。
- 想定以上の地震・津波に、どう備えるか?
- 地震・津波対策は、最新の知見を、安全向上のためにどのように取り入れてきているか?
- 建物、橋梁、家屋の耐震補強をどうするか?
- ささやかな私の貢献は?

# 地震学・地震工学の発展の経緯

- ・ 地震学や地震工学は、発生した地震動の観測や、 被害の教訓に学ぶことから始まった。
- 観測データから、生起地震の発生メカニズムは、かなり解明されるようになった。
- しかし、将来起こるであろう地震と地震動、さらに津 波を正確に予測することは、極めて難しい。
- 米国では、地震直前の発生予測は、不可能とされている。
- 被害の予測に当たっては、従来の記録に学ぶことが多い。しかし、新しい被害をどう予測するか?
- 防災・減災対策は?

- 1923 Great Kanto Earthquake (M7.9; hypocenter under sea and directly below)
  - Great fires occurred Design seismic coefficient: 0.1
- 1939 Road bridge specifications developed Design seismic coefficient: 0.2
- 1943 Tottori Earthquake (M7.2; hypocenter directly below)
- 1944 Tonankai Earthquake (M7.9; hypocenter under sea)
- 1945 Mikawa Earthquake (M6.8; hypocenter directly below)
- 1946 Fukui Earthquake (M7.1; hypocenter directly below) SMAC developed; Aseismic design codes established
- 1986 Highway bridge specifications developed Design seismic coefficient: 0.1-0.35
- 1964 Niigata Earthquake (M7.5; hypocenter under sea) Liquefaction failures occurred
- 1968 Tokachioki Earthquake (M7.9; hypocenter under sea) Motion recorded at Hachinohe; RC columns sheared and destroyed
- 1971 Aseismic design section of road bridge specifications developed Design seismic coefficient: 0.1-0.24 Modified seismic coefficient introduced Building Standards Act stipulates that shear reinforcing bars be strengthened
- 1978 Miyagiken-oki Earthquake (M7.4; hypocenter under sea) Lifelines disrupted
- 1980 Highway bridge specifications developed (proposed new aseismic design act) Ductility requirement examined
- 1981 Building Standards Act stipulates bearing capacity and ductility requirement Design seismic Earthquake (M7.7; hypocenter under sea) Long-cycle earthquake wayes observed
- 1988 Kojima-Sakaide route of Honshu-Shikoku Bridges completed
- 1990 Highway bridge specifications Aseismic design spectrum revised; dynamic analysis; bearing capacity; and possible occurrence of earthquakes three times as strong as previous ones taken into consideration Design seismic coefficient 1.0 (inelastic design) Base-isolated structure studied and buildings constructed based on such structure
- 1992 Manual for base-isolated design of highway bridges prepared
- 1993 Kushiro Earthquake (M7.8; hypocenter under sea) Hokkaido Nanseioki Earthquake (M7.8; hypocenter under sea)
- 1994 Hokkaido Toho-oki Earthquake (M8.1; hypocenter under sea) Sanriku Haruka-oki Earthquake (M7.5; hypocenter under sea)
- 1995 Hyogo-ken Nanbu (Southern Hyogo) earthquake (M7.2; hypocenter directly below urban areas)
- 2011 Touhoku Eq and Tsunami(M9.0

日本国内の地震歴

# 米国や海外の地震歴

#### U.S. (and other countries)

1906	San Francisco Earthquake(M8.3; hypocenter directly below)
1933	Long Beach Earthquake Initial Strong motion recorded Design seismic coefficient: 0.02 (Riley Act)
1936	Bay Bridge completed
1937	Golden Gate Bridge completed
1940	Imperial Valley Earthquake(M7.1; hypocenter directly below) Motion recorded at El Centro
1955	Design seismic coefficient: 0.06 (Uniform Building Codes)
1956	First WCEE held in San Francisco
1957	I-880 Cypress viaduct completed
1971	San Fernando Earthquake (M6.6; hypocenter directly below) RC columns sheared and destroyed; girders fell down; lifelines disrupted
1975	AASHTO, Interim Spec., Bridges Design seismic coefficient: 0.5 (inelastic design) Earthquake retrofitting initiated Girders connected
1981	ATC-6 AASHTO, CALTRANS
1985	Mexico Earthquake (M8.1; hypocenter under sea) Structures collapsed due to two-second resonance
1989	Loma Prieta (San Francisco) Earthquake (M7.1; hypocenter under sea)
1990	IDNDR started Philippines Earthquake (7.8; hypocenter under sea and directly below)
1994	Northridge Earthquake (M6.8; hypocenter directly below); this earthquake's hypocenter was directly below the urban areas it struck; marked by great acceleration and velocity
2004	Sumatra Eq and Tsunami(M9.0)

# 世界における地震被害の輪廻

• 大火災

サンフランシスコ地震(1906)、関東大震災(1923)

- 都市直下の震度7地震
   福井地震(1946)、兵庫県南部地震(1995)、
   熊本地震(2016)
- 鉄筋コンクリート柱のせん断破壊

十勝沖地震(1968)、サンフェルナンド地震(1971)

大津波

貞観地震(869)、三陸津波(明治1896、昭和1933)、

スマトラ沖地震(2004)、東北太平洋地震(2011)

• 原発事故

中越沖地震(2007)、東北太平洋地震(2011)

## 家村が参加してきた主な地震災害調査

- ・ サンフェルナンド地震(1971、近代構造物の大被害)
- 宮城県沖地震(1978、ライフラインの大被害)
- メキシコ地震(1985、超遠方地震による地盤の共振)
- 日本海中部地震(1988、津波、長周期地震動)
- フィリピン地震(1990、大断層地震)
- カリフォルニア州ノースリッジ地震(1994、直下地震)
- 兵庫県南部地震(1995、直下地震による強震動)
- 台湾集集地震(1999、内陸部の巨大地震、調査団長)
- スマトラ地震(2004、巨大津波、アチェ市被害調査 団長、記念ポール建設)
- 中越沖地震(2007、原発被害5学会調査団長)
- 東北太平洋地震(2011、津波被害、原発事故重大)

サン Zutンド地震(San Fernando) 1971年(昭和46)2月9日 M 6.6

近代構造物の大被害におどろいた 設計震度(Kh=0.05)の低さが主原因



#### 震源近傍に建設されたばかりの病院が完全崩壊した



#### 強震記録kの得られたミリカン記念図書館



## 大変形した一階部の柱



高橋脚高架橋も落橋した(川島先生解析)



## 当時多くの記録を残した米国の光学式強震計



地下での加速度記録と積分した速度と変位ち



#### 屋上で記録された絶対加速度と積分された速度、変位



同時記録から算出した相対化速度と積分した速度、変位



# 絶対化速度一相対変位の関係から同定した <u> 剛性低下バイーリニア履歴モデル</u>

中国唐山地震 1976(日日和51)7.28 M = 7.8

石造建物の崩壊により20数万人もの犠牲者が出た



石造構造物の崩壊により二十数万人が死亡



#### 工場の外壁の柱のみを残して崩壊



#### 工場崩壊後の残骸(長い間放置されたままだった)

官城県沖地震 1978(昭和53). 6.12 M = 7.4

近代都市のインフラ、ライフラインに大被害発生



ゲルバー桁の中央部分が簡単に落橋した



### 崩壊した建物の一階部分(従業員はは机のしたから生還)

メキシコ地震 (Mexico) 1985年(昭和60年)9月19日 M 8.1

震源から400kmもはなれたメキシコ市で大被害







## メキシコ地震の発生と大被害のメカニズム



メキシコ市内での加速度記録(まるで変位応答のよう)



# メキシコ記録の加速度応答スペクトル







# 隅の柱に大きな軸力と曲げが作用した





# ハイブリッド実験法を開発した

- 部材の非線形服k現力は裁荷実験から
- •応答計算は計算機で
- •両者を同時に行う実験法
- 伯野先生はハイブリッド実験をアナログ で開発
- •AD-DA変換器と計算機の発達
- 家村はデジタルのハイブリッド実験法を 開発



## 非線形復元力を実験からとって地震応答計算



## 材端3軸裁荷実験装置の開発


水平変位、軸力、曲げを裁可できる装置を開発



### 計算機と見守るだけの実験、中山君(現内閣府)



## 鋼製柱の座屈実験(穂剛法の効果を検出)

## ロマプリータ地震

## 1989年(昭和64年10月17日 M=7.1 サンフランシスコの道路やライフライ ンに大被害 この地震以降耐震補強に本腰



2階建て高 架橋の2階 部橋脚のせ ん断破壊



## 2階部横桁のPC鋼線が飛び出している



## 桁の支持プレートがあまりに小さすぎる







## パイル橋脚は地震に弱い



## 橋脚がせん断破壊後床板を突き破った



### プレート間地震が内陸部で発生した



## 水平数m上下2mほどの断層変位が発生した



避暑地バギオのこのホテルが全倒壊??



## 2階部柱の完全層崩壊







## 液状化による橋脚の沈下と傾斜



## 液状化により1階部が沈没した





## 

FIG 6-4. West SR-14/South I-5 Connector from Sou North I-5/East SR-14 to the right, South I-4/East SR-14 at top of photo.



FIG D-3. Bent 3 from Southeast.



FIG D-1. View from Abutment A1 Looking North. Bent 2-in Under Car.



## 兵庫県南部地震(1995**.1.**17) M=7.2

- 都市直下地震
- 震度7(激震)の地震の帯
- 家屋の倒壊による死者約5千人
- 高架橋、鉄道、港湾などインフラの被害大
- 81年以前の建物の被害大
- 都市ライフラインの被害大
- 火災も発生



### 兵庫県南部地震(1995)により崩壊した 阪神高速道路3号線ピルツ型高架橋



### 脆弱で崩壊した橋脚と、粘りを示した橋脚





### 阪神大震災後の土木学会からの提言

- 1. 耐震設計に当たって、今までの200年に一度程 度の地震力(レベル1)に加えて、1000年に一度 程度の地震力(レベル2)を考慮する。
- 2. レベル2地震動を受けた場合、構造物が損傷して も崩壊しないことを確認する。
- 3. 一次および二次の2段階の耐震診断を行って、補 強を必要とする構造物を選び、適切な補強を行う。
- 4. 新しい免震や制震技術を開発し応用する。
- 5. 都市計画に当たって、総合的な地震防災性の向上をはかる。



### 内陸部で大断層が発生した



#### 断層隆起により川中に高さ10mの滝が出現した



対岸の橋脚が地盤と共に10mせり上がった



#### やや長周期地震動による高層マンションの東海



### 高層マンションの完全東海

# 世界地震工学会(IAEE)のSG (事務局長)に任命された

理事会では、地震工学研究は地 震被害の低減や災害防止に直接 役立種がならないとの意見が多く 出された。14,15WCEEを担当



2002年に世界地震工学会のSecretary Generalに任命された



#### IAEEの総会では地震防災への貢献が重要とされた
# インド洋地震津波(2004.12.26) M=9.0

- インド洋湾岸の各国に津波被害
- スマトラ島バンダアチェ市では、20分の地震動の後、
  20分で津波来襲。約15万人が津波で死亡
- 防波堤などなく、また津波を知らない人が多かった。
- タイのプーケット島でもバカンス外国人が多く死亡
- 今までにない国際援助・協力







02:22:01UTC M5.8 8.85N 92.42E 02:15:59UTC M5.7 12.33N 92.48E 02:15:50UTC M5.3 12.10N 92.19E 02:00:40UTC M6.0 6.83N 94.61E 01:59:14UTC M5.5 8.37N 92.43E 01:40:07UTC M5.5 5.76N 93.03E 01:22:27UTC M6.0 7.68N 93.72E 01:21:26UTC M6.1 6.36N 93.35E 01:25:49UTC M6.0 5.54N 94.17E 01:48:49UTC M5.8 5.40N 94.42E 00:58:53UTC M9.0 3.31N 95.55E

Source: USGS http://neic.usgs.gov





#### スマトラ島バンダアチェ市、ヤシの木以外は、皆流された



#### 鉄筋コンクリート以外の建物は、皆、流された

# Syiah Kuala Cemetery 2005年3月2日

生存者

#### Syiah Kuala Cemetery



Syiah Kuala Cemeteryにおいて生存者 にアンケート調査

### 津波の現象を知っていたか?



Knowledge on tsunami was low

#### 津波に対する生存率(実際と迅速避難仮定時)



#### Iemura et al., 2005

# 海岸直近における津波高さの記念ポール



#### 建設中の津波高さ記念ポールを用いた防災教育



#### 記念ポールと全ポール位置を示した写真による防災教育





# Estimated water velocity that causes a bridge to move

Area of attack,  $A = 48.51 \text{ m}^2$ Case Study: No.20<br/>Peukan Bada BridgeMass of 3 girders + 1 deck, m = 227,264 kgWeight,  $W = m \times g = 2,227,187$  Newton $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ Resisting force,  $F_f = W \times \mu = 668,156$  Newton $\mu = 0.3 \text{ m/s}^2$ 

Fluid drag force,  $F_d = 0.5\rho C_d v^2 A = F_f$  (bridge start moving)

 $v = \sqrt{\frac{2F_f}{\rho C_d A}} = \sqrt{\frac{2 \times 668,156}{1000 \times 1.0 \times 48.51}} = 5.24 \text{ m/s} \approx 19.0 \text{ km/h}$ 

Considering water uplift force, the velocity is calculated as:

 $v_{wu} = 0.775 \times 19.0 = 14.7 \text{ km/h}$ 

# Our Research and Implementation Activities

- Questionnaires for Earthquake Intensity
- Questionnaires for Tsunami Height and Actions
- International Collaboration
- Estimation of Tsunami Force from Bridge Damage
- Water Channel Experiments of Tsunami Attack
- Tsunami Height Memorial Poles and Education

# Experiments on Tsunami Force on a Bridge





Wave Channel Experimental Facilities at Ujigawa Open Laboratory, Kyoto University





## スマトラ地震・津波調査団からの提言

- 1. 学校、地域での、地震や津波に関する科学的 教育の実施。
- 2. 津波ハザードマップの作成
- 3. 被害を忘れないための津波高さポールの建設・利用
- 4. 津波警報システムの設置(ドイツ、日本援助)
- 5. 平坦な沿岸線に、津波避難所の建設
- 6. 津波研究所や記念館の建設



2007新潟県中越沖地震による 東電柏崎刈羽原子力発電所の 5学会合同被害調査の概要と提言

2008年1月12日 土木学会、地盤工学会、日本地震工学会、 日本建築学会、日本地震学会







#### 尾池京大総長、入倉地震工学会会長らと現地視察











柏崎原発現地視察の所感と提案 ・4原子炉の自動的かつ安全な停止を評価。 しかし細部の損傷は要検討。 ■材接合部の被害大 タンクーパイプ、変圧器ーケーブ ル、ダクトー煙突など ■地盤変動・沈下による被害大。動的相互作用が地中の 構造に及ぼす効果 ■地中構造物の地上化 ■重要度ランクA,B,C構造物の性能設計とシステムとして の 整合性、 BCPとしての 課題 ■被害・損傷データの解析的検討と教訓としての保存 ■減震・免震・制震などの先端的技術の応用

# 東北太平洋地震(2011.3.11) M=9.0

- 日本の観測史上また有史以来の巨大地震
- 断層の長さ500Km, 幅200Km, 地震エネ ルギーは、神戸地震の約500倍
- 高さ20m超の巨大津波が、東北東沿岸を直撃し、各市、各町は、ほぼ壊滅、重大原発事故発生
- 被害激甚、死者·行方不明者約2万人
- 津波対策がもっとも進んだ地域でなぜ?
- 全日本・世界からの支援

# 岩手・宮城県沖における大地震・津波

- 869年 M8.3 貞観地震•津波
- 1611年 M8.1 慶長三陸地震·津波
- 1793年 M8.4 寛政地震•津波
- 1896年 M8.5 明治三陸地震·津波
- 1933年 M8.1 昭和三陸地震·津波
- 1960年(M8.5) チリ地震津波
- 1968年 M7.9 十勝沖地震
- 1978年 M7.4 宮城県沖地震
- 2003年 M8.0 平成15年十勝沖地震
- 2003年 M6.4 宮城県北部地震
- 2005年 M7.2 宮城県沖地震



#### 16年前の津波警告書



津波の溯上高さの比較

明治三陸津波(1896) 昭和三陸津波(1933) 東日本大震災(2011)


#### 釜石市 3月11日 午後3時21分、澤田幸三氏撮影 毎日新聞提供





#### 女川港における建物の転倒、4階屋上にまで津波



#### 強い津波波力により建物が倒壊した

# 福島第1原子力発電所の被害







### 福島第1原子力発電所の被害

- 40年前の古い建設
- 当時は、地震のメカニズムもはっきりせず、
   設計地震力や津波高さも、経験則に依存
- 当時の設計法は静的弾性設計かつ仕様設計。
   疑問
- 当初の設計地震力、津波高さは、見直されたか?
- 津波の越流対策はとられたか?
   (ポンプ、非常電源を津波から防護する対策)
- ポンプ、非常電源が破壊された場合の対策マニュ アルはあったか? 実行されたか?
- 想定外の津波による崩壊の責任は、監督官庁か、
   東電か?天地の大異変か?
- 被害の保障は絶対避けられない!

# 直下地震に対する要求性能とは? 民家、建築の場合; 震度7に対しても、崩壊しない。 家具の転倒により、怪我をしない。 火災を出さない。出れば初期消火。

• 何とか住み続けられる。

#### 公共構造物の場合;

- ・ 震度7に対しても、軽微な損傷
- ・ 早期の修復による機能の回復
- ・ ライフラインの早期復旧、2次災害の防止







制震

## 我が家の耐震補強

#### •木造90年

- 耐震補強だけでなく、水周りも改修
- 屋根瓦を軽く、壁パネルで偏心を除去
- 仕口ダンパーで、減衰性能を確保
- 新築の60%の支出
- 古い木造の家は保存された





荒壁パネル 仕ロダンパー 葺土除去

# 床と屋根の面の補強





屋根

#### 水平構面の改善





# 居間や水まわりも新築そっくり









#### 免震構造を用いて耐震改修された京都大学の時計台記念館







#### 梁と柱の増設で耐震補強された京都大学の建物



#### 窓に壁を新設して耐震補強()京大)



#### 鉄骨ブレースによる耐震補強(京大)



1920年台に建設、免震・制震を総動員して補強 132







Shear Links



# 長大橋の耐震補強

- 家村は本州四国連絡橋道路、阪神高層道路の長大橋の耐震補強の委員会の委員長として補強法の開発に協力した。
- 長大橋では、通常の耐震補強法の採用は、 動的応答特性からして不合理で、コストも高い
- 免震、制震の技術の応用が有効
- 免。制震デバイスの応用技術jの応用マニュ アルにより、阪高が土木学会技術賞を受賞



#### 大きな骨組みトラスの港大橋(阪神高速)



主桁と横梁が、固定されている















#### Kobe Earthquake 1995

#### Kobe Earthquake 1995



#### BI Bearings at the Bottom of Bridge Piers

#### **Bridge Model for Dynamic Analysis**



地震応答解析.

入力地震動として
 兵庫県南部地震・JR鷹取駅でのNS方向の地震動の記録
 を用いた地震応答解析を行い、
 免震支承に生じる
 ・水平変形
 ・変動軸力
 ・回転変形
 を求める。



Combined Loads of the BI Bearings


Hybrid Loading System for Combined Loads



### Hybrid Loading System for Combined Loads





### 東神戸大橋の耐震補強

- ・フローチング桁構造で、変形しやすい。
- ・過度の変形による、細部の損傷やタワーの安全性の 危惧。
- ・大容量、大ストロークのダンパーの必要性



高減衰ゴムサンドイッチ型ダンパーを新規に開発





# 試作HDRダンパー供試体



積層ゴム	2基
積層ゴム寸法	150mm × 150mm
ゴム層厚	7mm×5層
せん断弾性係数	G12相当



### 高減衰ゴムダンパーの復元カ







#### Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ.





### $\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{x}(t) = \mathbf{D}\mathbf{u}(t) + \mathbf{E}\mathbf{f}(t)$ (1)

M, C, and K : Mass, Damping, and Stiffness Matrices

 $\mathbf{x}(t)$ : displacement vector

 $\mathbf{f}(t)$  : external excitation vector

 $\mathbf{u}(t)$  : control force vector

**D** : location matrix of the control force

**E** : location matrix of the external excitation



Structure under dynamic loading (representation in state-space equation)

> Equation (1) can be rewritten using statespace representation:

$$\dot{\mathbf{z}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{z}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) + \mathbf{H}\mathbf{f}(t), \quad \mathbf{z}(0) = \mathbf{z}_0$$

where:

$$\mathbf{z}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{x}(t) \\ \dot{\mathbf{x}}(t) \end{bmatrix} \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{I} \\ -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{K} & -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{C} \end{bmatrix}$$
$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{M}^{-1}\mathbf{D} \end{bmatrix} \quad \text{and} \quad \mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ \mathbf{M}^{-1}\mathbf{E} \end{bmatrix}$$



Objective function for the optimal control problem is *time integral* of the sum of *transient energy and control energy* expressed as functions of time:

$$J = \int_{0}^{t_{\rm f}} \left[ \mathbf{z}^{\rm T}(t) \mathbf{Q} \mathbf{z}(t) + \mathbf{u}^{\rm T}(t) \mathbf{R} \mathbf{u}(t) \right] dt$$
  
transient control  
energy energy



最適減衰力に負の剛性を新発見した







- A structure is connected to the virtual fixed point through a dashpot.
- Even in an earthquake, the fixed point never moves like sky.
- So this system is called 'Skyhook System.'
- Skyhook System can reduce absolute response.
- Of course, the fixed point is just ideal.
- Skyhook control is the method to control a groundhook damper to follow the target load that would be generated by the skyhook dashpot.



Hysteretic loop with horizontal axis of absolute displacement

Damper load is proportional to absolute velocity.

Hysteretic loop with horizontal axis of relative displacement

負の剛性が見つかった

### 想定外の地震にどう備えるか?

### •仕様設計法

決められた地震力に対して設計、それ以上の 荷重に対しては、問わない、答えられない

### •性能設計法

多段階の地震力に対して、対応する性能を確保。システムとしての性能を保証 1枚腰ではなく、2,3,4枚腰の設計法



	無被害 機能完全	無被害 機能損失	軽被害 機能損失	大被害 生命危険	完全崩壊
頻繁に 発生 (T=43年)	0	×	×	×	×
時々発生 (T=72年)	0	0	×	×	×
まれに 発生 (T=475年)	0	0	0	×	×
極めてま れに発生 (T=970年)	0	0	0	O ×	×

図 地震の発生確率に対応する要求構造性能(T=再現期間)

	無被害 機能完全	無被害 機能損失	軽被害 機能損失	大被害 生命危険	完全崩壊
想定される 最大地震動	0				

#### 図 想定地震動に対する単一の耐震設計





Spencer,西谷 藤野先生のご 推薦で、ハウス ナーメダルを頂 けた 2014(平成26)年度

2014(平成26)年度



**ASCE** Housner Medal For Structural **Control &** Monitoring



土木学会

功績賞

地震 工学委 員会の 推薦 で 功績賞 をいた だけた

平成28(2016)年度



# メダルの裏は 土木学会伝統の デザイン

# ご清聴有難うございました

これからの世の中
安和穏なれ
と祈りますが・・・

2枚腰、3枚腰の備えが必要です



# 今回のようにいろいろの研究成果を 発表できたのは長い期間にわたり 多くのかたがたの協力を得たことに よります。

### お世話になった先生方

- 故後藤尚男先生
- 山田善一先生
- 土岐憲三先生
- 亀田弘行先生
- G.W.Housner 先生
- P.C.Jennings先生
- W.D.Iwan先生

# お世話になった同僚の先生方

- Charles Scawthorn 先生
- 藤野陽三 先生
- 川島一彦 先生
- 西谷 晃 先生
- 澤田 純男 先生
- 五十嵐晃先生
- 伊豆野和行先生
- Danilo Ristic 博士
- Venkataramana Katta 博士
- William Tanzo博士
- Harris Pradono 博士
- 高橋良和 教授

# お世話になった後輩の方々

竹内敬二氏 Daniel Quiun 氏 高村 尚 博士 中山 裕章 氏 Aguilar B. Zenon 氏 藤原 寅士良 博士 豊岡 亮洋 博士 中田 成智 教授 桶口 匡輝 博士