

赤外分光法を用いたブドウ糖濃度の測定

稲田 知 咲¹⁾ 金 澤 真 雄¹⁾ 會 沢 勝 夫²⁾

¹⁾東京医科大学内科学第三講座

²⁾東京医科大学生理学第二講座

【要旨】 赤外分光法を用いて、非侵襲的ブドウ糖濃度測定法の基礎的検討を行った。

赤外光は、特定の分子振動により特定の波長域が吸収される。この特性を利用して、フーリエ変換赤外分光光度計を用いて各ブドウ糖濃度におけるブドウ糖の吸光量を測定した。

ブドウ糖の C-O-C の伸縮運動に由来すると推定される $1,028\text{ cm}^{-1}$ の波長の吸光は、ブドウ糖濃度 $125\sim 1,000\text{ mg/dl}$ の範囲ではブドウ糖濃度依存性に吸光が増加し、良い相関を認めた ($r=0.999$)。アルブミン 3 g/dl 添加したブドウ糖溶液においても、ブドウ糖濃度依存性に吸光度の増加をみた。ブドウ糖溶液にアセトンを添加した吸光は、アセトンの C=O の伸縮運動による $1,695\text{ cm}^{-1}$ が $1,691\text{ cm}^{-1}$ に移動し、また $1,649\text{ cm}^{-1}$ 、 $1,624\text{ cm}^{-1}$ に新しい吸光を認めたが、ブドウ糖の吸光には影響を与えなかった。本測定法ではブドウ糖濃度測定が可能であり、血糖測定に活用できる可能性がある。

はじめに

糖尿病は生活習慣病の代表として注目されている。その本態はインスリンの欠乏あるいは作用の不足に基づく、高血糖に代表される広範な代謝異常を来す疾患である。糖尿病の発症頻度は経済の発展、社会の近代化とともに増加し、日本では糖尿病患者が 600 万人、糖尿病発症予備群を含めると 1,000 万人以上いると推測されている。糖尿病は Silent disease の側面を持つ。糖尿病患者では無症状であっても将来の合併症の進展を防ぐためには通院をすることが必要であり、厳格な血糖のコントロールが要求される¹⁾。それゆえ強化インスリン療法をはじめとする治療がなされる。この際可及的に良好な血糖変動を得るためには頻回の血糖測定、すなわち血糖自己測定 (SMBG self monitoring of blood glucose) が必要とされ、必要に応じてインスリン注射量を変更することも必要である。

現在一般的に用いられている血糖の測定は、採血した上でオートアナライザーで測定する、指尖あるいは耳朶を穿刺し少量の血液を得て簡易血糖測定器を用

いるなどがある。しかしながらこれらは血液を採取して測定するため、1) 患者に採血のため苦痛を与える、2) 血液による感染の危険性がある、などの不利益も合わせ持つ。それゆえ血液を採取せずに血糖の測定が可能システムの開発が必要とされる。

非侵襲的ブドウ糖測定法は、吸引による浸出液を用いた方法^{2,3)}、透過赤外光を用いる方法⁴⁾、赤外分光法⁵⁻⁷⁾ など幾つかの方法が開発されている。

今回は赤外分光法を用いての非侵襲的血糖測定法の基礎的研究を試みた。血中のブドウ糖は蛋白、特にアルブミンと結合してケトアミンを構成するため測定系に影響する可能性もある。またケトosis を伴う患者では血中に多量のアセトン体が存在し、アセトンがブドウ糖と結合して本測定系に干渉する可能性もあるためアセトンの測定系への干渉とアセトン糖の形成も検討した。

研究材料と方法

1. 赤外分光スペクトルの観測

観測試料としてブドウ糖無水 (Lot. No. APP6856

2002 年 12 月 4 日受付、2003 年 1 月 24 日受理

キーワード：赤外分光法、ブドウ糖濃度測定、分子振動、アセトン糖

(別刷請求先：〒 160-0023 東京都新宿区西新宿 6-7-1 東京医科大学病院内科第三講座 稲田知咲)

和光純薬 大阪)。アルブミン (Albumin, Human Fraction V Lot. No. 88H7610, SIGMA Germany) およびリン酸緩衝液 pH 7.4 (Dulbecco'PBS 大日本製薬 大阪) を用いた、ブドウ糖分子の振動状態はフーリエ変換赤外分光光度計 (Diamond 20 日本電子 東京) を用いて多重反射溶液セルに試料を 0.5 ml 挿入し、Zn・Se 結晶上に接触させて測定した。赤外スペクトルはシングルビーム法で波数 $1,000\text{ cm}^{-1}$ から $3,140\text{ cm}^{-1}$ 間で FX80 ソフトを用いて室温で測定した。この時の波数分解能は 5 cm^{-1} であった。スペクトル解析は Grams 32 (Galactic Ind. Cop. USA) を用いてリン酸緩衝液のスペクトルを差し引いて行った。またアルブミンとブドウ糖混合溶液はリン酸緩衝液のスペクトルを差し引いた後に、アルブミンのアミド I の吸光度で標準化し観測した。赤外吸収スペクトル観測範囲は $900\sim 1,800\text{ cm}^{-1}$ である。

2. PBS に溶解したブドウ糖の吸収スペクトル

ブドウ糖を PBS 溶液 (pH 7.4) に 62.5, 125, 250, 500, 1,000 mg/dl の各濃度となるように調整し、それぞれ多重反射セルに 0.3 ml 挿入し、波数 $990\sim 1,180\text{ cm}^{-1}$ におけるフラノース環を中心にした赤外吸収スペクトルを観測した。

3. アルブミン添加したブドウ糖の吸収スペクトル
PBS 溶液 (pH 7.4) にアルブミン 3 g/dl となるように無菌的に作成した溶液を、ブドウ糖を 62.5, 125, 250, 500, 1,000 mg/dl の各濃度となるように調整し、観測した。

4. アセトンの測定系への影響

蒸留水にアセトンを添加し、直ちに多重反射溶液セルの Zn・Se プリズム上に溶液を充填してアセトンによる吸光スペクトルを確認した。次いで 5 mM (90 mg/dl) のブドウ糖添加 PBS 溶液にアセトンを 4.25, 8.5, 17 mM となるように混和し、10 分後にブドウ糖およびアセトンの特異的吸収波長のスペクトル変化を検討した。

結 果

1. PBS に溶解したブドウ糖の吸収スペクトル

赤外吸収スペクトル観測範囲 $1,000\sim 3,000\text{ cm}^{-1}$ でブドウ糖の分子振動による吸収帯は PBS 溶液 pH 7.4 での溶解状態で大きく 5 つのピークとして観測された。それらは波数 $1,000\sim 1,180\text{ cm}^{-1}$ にフラノース環の C-O-C 伸縮運動、波数 1,435, 1,480 cm^{-1} に C-H の変角運動、波数 1,584 cm^{-1} に C-C の伸縮運動、波数 1,661 cm^{-1} に C-H 変角運動の倍波に帰属するスペクトルである (Fig. 1)。ブドウ糖濃度を濃度 62.5, 125,

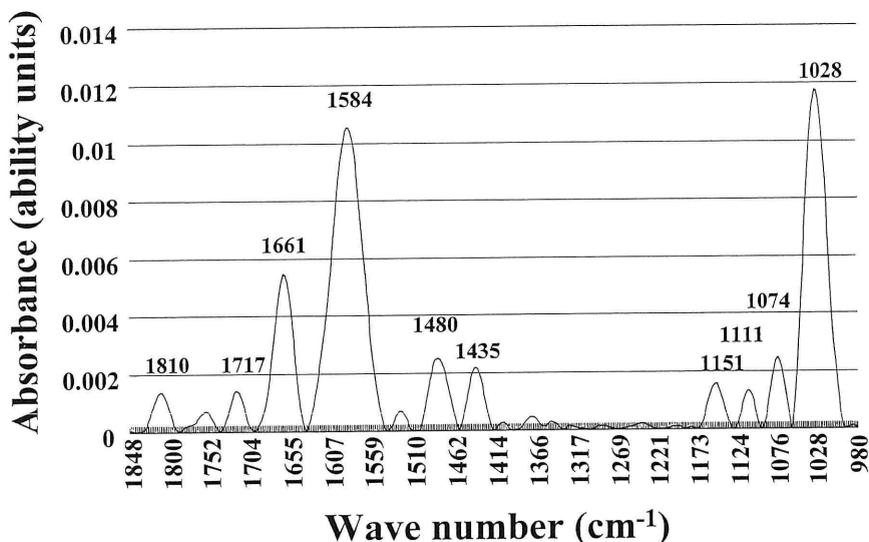


Fig. 1 Absorption spectrum of glucose dissolved in phosphate buffered saline (PBS)
The absorption zone related to glucose molecular movement was mainly observed as 5 peaks.
Spectra corresponding to C-O-C stretching movement at $1,000$ to $1,180\text{ cm}^{-1}$
Spectra corresponding to C-H deformation movement at $1,435$ and $1,480\text{ cm}^{-1}$
Spectra corresponding to C-C stretching movement at $1,584\text{ cm}^{-1}$
Spectra corresponding to C-H deformation movement at $1,661\text{ cm}^{-1}$

250, 500, 1,000 mg/dl となるように PBS 溶液に溶解し、赤外吸収スペクトルを測定すると、1,000~1,180 cm^{-1} 波長範囲で 1,028, 1,074, 1,111, 1,151 cm^{-1} の4つのフラノース環を中心とした吸収ピークが観測された (n=6 の平均スペクトル) (Fig. 2)。ブドウ糖の C-O-C の伸縮運動に依存する 1,028 cm^{-1} のピークは濃度 125~1,000 mg/dl の範囲で波数は $\pm 2 \text{ cm}^{-1}$ とほ

とんど変動せず、吸光度はそれぞれ 0.0017, 0.0031, 0.0061, 0.0118 であった (Fig. 2-a, b, c, d)。しかしブドウ糖濃度 62.5 mg/dl では波数 1,028 cm^{-1} に存在したピークは 1,018 cm^{-1} と低波数側に 10 cm^{-1} 移動し、吸光度は 0.0002 であった (Fig. 2-e)。波数 1,028 cm^{-1} でのブドウ糖濃度と赤外分光法を用いた吸光度との相関係数は 0.999 と良好な直線関係が得られ、本法での

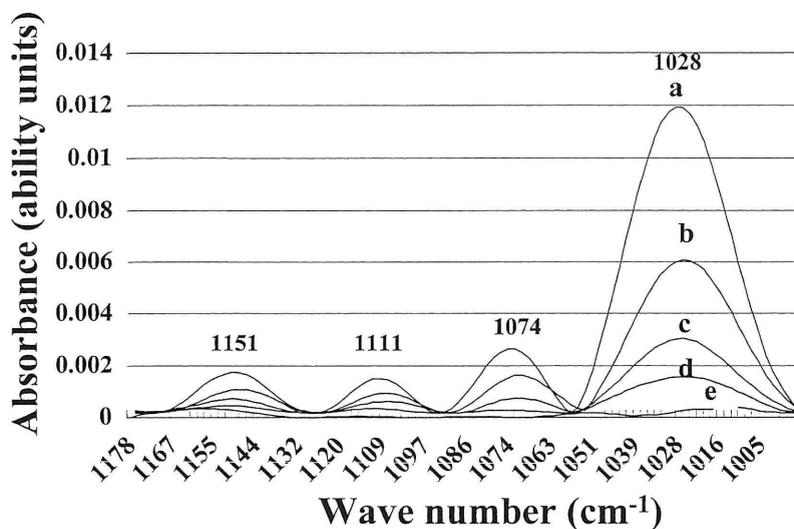


Fig. 2 Absorption spectrum at various concentrations (62.5, 125, 250, 500, 1,000 mg/dl) of glucose dissolved in PBS. At each concentration of glucose, 4 peaks (1,028, 1,074, 1,111, and 1,151 cm^{-1}) were observed. At the 1,028 cm^{-1} peak, absorbance was 0.0017 (Fig. 2d), 0.0031 (Fig. 2c), 0.0061 (Fig. 2b), and 0.0118 (Fig. 2a) at glucose concentrations of 125, 250, 500, and 1,000 mg/dl, respectively. At a glucose concentration of 62.5 mg/dl, the 1,028 cm^{-1} peak shifted to 1,018 cm^{-1} , and absorbance was 0.0002 (Fig. 2e).
 a : PBS solution containing 1,000 mg/dl of glucose, b : PBS solution containing 500 mg/dl of glucose, c : PBS solution containing 250 mg/dl of glucose, d : PBS solution containing 125 mg/dl of glucose, e : PBS solution containing 62.5 mg/dl of glucose

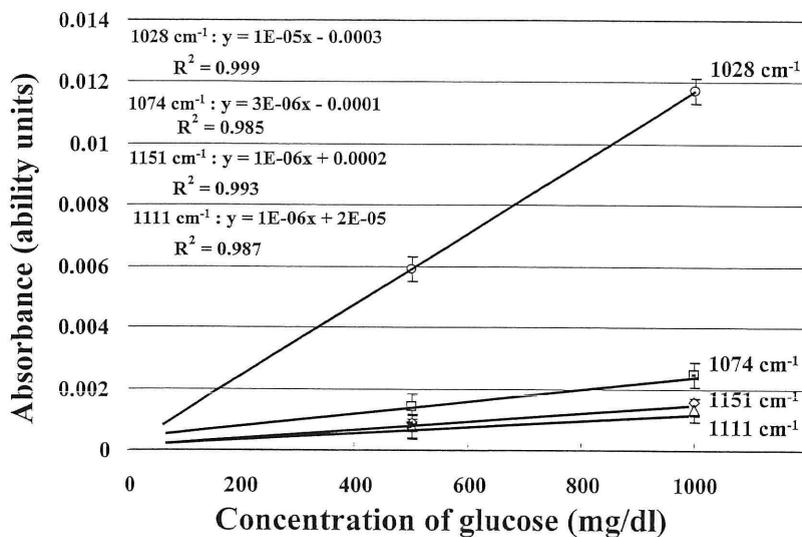


Fig. 3 Correlation between absorbance and wave number at each concentration (62.5, 125, 250, 500, 1,000 mg/dl) of glucose in PBS. Correlation coefficients between each glucose concentration and absorbance were 0.999 at 1,028 cm^{-1} , 0.985 at 1,074 cm^{-1} , 0.987 at 1,117 cm^{-1} , and 0.993 at 1,151 cm^{-1} . A good linear relation was obtained. (○ : 1,028 cm^{-1} , □ : 1,074 cm^{-1} , ◇ : 1,151 cm^{-1} , △ : 1,111 cm^{-1})

ブドウ糖量の測定が可能であることが示された。また波数 1,074, 1,111, 1,151 cm^{-1} のピークにおける相関係数はそれぞれ 0.985, 0.987, 0.993 と良好な直線関係が得られた (Fig. 3)。

2. アルブミン添加したブドウ糖の吸収スペクトル

ブドウ糖を PBS に溶解した実験系と同様の条件で、アルブミン 3 g/dl を含む液を調整し、ブドウ糖濃度を 1,000 mg/dl としたときには、フランース環の C-O-C 伸縮運動に依存する波数 1,000~1,180 cm^{-1} の間のピークは 1,032, 1,078, 1,113, 1,157, 1,171 cm^{-1} の 5 つのピークが観測された、波数 1,032 cm^{-1} のピークはブドウ糖 1,000, 500, 250, 125 mg/dl で 1,032, 1,028, 1,024, 1,018 cm^{-1} へと順次低波数に移動し、そのピークの吸光度が 0.0085, 0.0049, 0.0035, 0.0032 と減少していた (Fig. 4-a, b, c, d)。また 1,032 cm^{-1} での吸光度はブドウ糖濃度 1,000, 500, 250, 125 mg/dl で 0.0085, 0.0048, 0.0031, 0.0022 となった。この波数でのブドウ糖濃度と赤外分光法を用いた吸光度との相関係数は 0.991 となり高い相関を持っていた (Fig. 5)。波数 1,078, 1,113

cm^{-1} のピークにおいては、各濃度 $\pm 2 \text{ cm}^{-1}$ の範囲内でしか波数は変動しなかった。この波数でのブドウ糖濃度と赤外分光法を用いた吸光度との相関係数はそれぞれ 0.997, 0.968 とかなり高い相関を認めた (Fig. 5)。波数 1,157 cm^{-1} ピークは 500 mg/dl で 1,167 cm^{-1} となり、さらに低濃度のブドウ糖では 1,171 cm^{-1} に移動していた。

3. アセトン存在の測定系への影響

アセトン分子の運動による赤外線吸収ピークは 4 つ観測された。波数 1,236, 1,365 cm^{-1} の吸収ピークは CH_3 の変角運動、1,419 cm^{-1} の吸収ピークは C-C の伸縮運動、1,695 cm^{-1} の吸収ピークは C=O の伸縮運動を示した (Fig. 6)。

ブドウ糖 5 mM 添加 PBS 溶液にアセトンを 4.25, 8.5, 17 mM となるように混和し、10 分後に吸光スペクトルを測定した。アセトン 4.25 mM 添加では、アセトンに特有の CH_3 変角運動に依存するピークは 1,236 cm^{-1} に確認されなかった。波数 1,365 cm^{-1} の変角運動に依存するピークはアセトン濃度 4.25 mM で約 2

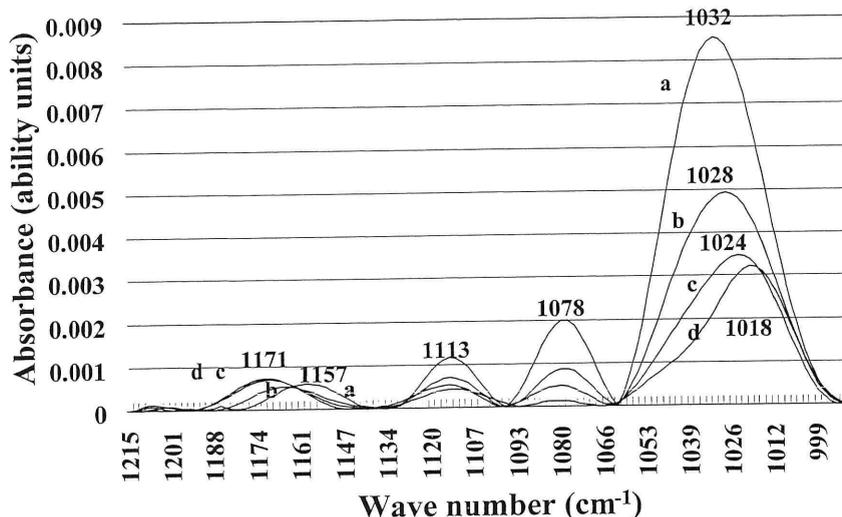


Fig. 4 Absorption spectrum at various concentrations (62.5, 125, 250, 500, 1,000 mg/dl) of glucose dissolved in PBS containing 3 g/dl of albumin

At a glucose concentration of 1,000 mg/dl, 4 peaks (1032, 1113, 1157, and 1171 cm^{-1}) were observed as wave numbers depending on the C-O-C stretching movement. At a glucose concentration of 1,000 mg/dl, the peak was at 1032 cm^{-1} . Absorbance was 0.0085.

At a glucose concentration of 500 mg/dl, the peak was at 1,028 cm^{-1} . Absorbance was 0.0049. At a glucose concentration of 250 mg/dl, absorbance was 0.0035. At 125 mg/dl, absorbance was 0.0032. In other words, absorbance was dependent on glucose concentration. At peaks of 1,078 and 1,113 cm^{-1} , there were changes in the wave number only within the range of 2 cm^{-1} at each concentration of glucose. The peak of 1,157 cm^{-1} increased to 1,167 cm^{-1} at a glucose concentration of 500 mg/dl. At a lower concentration of glucose, the peak shifted to 1,171 cm^{-1} .

a : PBS solution containing 1,000 mg/dl of glucose and 3 g/dl of albumin

b : PBS solution containing 500 mg/dl of glucose and 3 g/dl of albumin

c : PBS solution containing 250 mg/dl of glucose and 3 g/dl of albumin

d : PBS solution containing 125 mg/dl of glucose and 3 g/dl of albumin

e : PBS solution containing 62.5 mg/dl of glucose and 3 g/dl of albumin

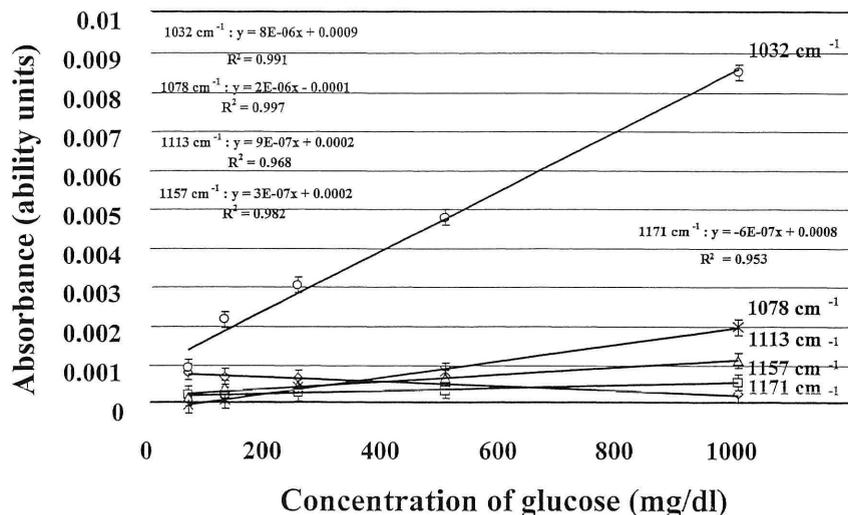


Fig. 5 Correlation between absorbance and wave number at various concentrations (62.5, 125, 250, 500, 1,000 mg/dl) of glucose dissolved in PBS containing 3 g/dl albumin
 At 1,032 cm⁻¹, absorbance was 0.0085, 0.0048, 0.0031, and 0.0022 at glucose concentrations of 1,000, 500, 250, and 125 mg/dl, respectively (○ : 1,032 cm⁻¹).
 At 1,032 cm⁻¹, the correlation coefficient between the glucose concentration and absorbance was 0.991, showing a positive correlation. At 1,078 cm⁻¹ and 1,113 cm⁻¹, correlation coefficients between the glucose concentration and absorbance were 0.997 and 0.968, showing positive correlations.

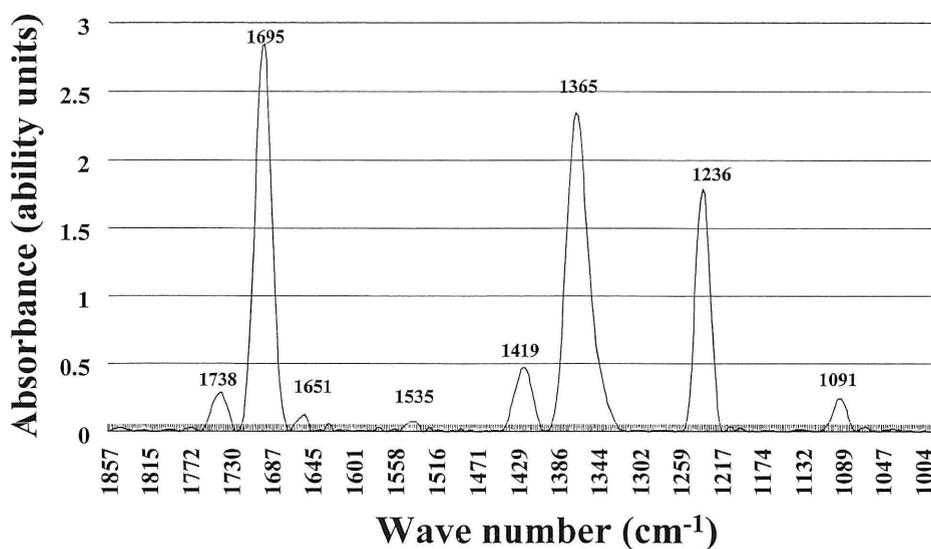


Fig. 6 Absorption spectrum of acetone dissolved in PBS
 4 peaks related to acetone molecular movement were observed. 1,236 and 1,365 cm⁻¹: Spectra of the CH₃ deformation movement 1,419 cm⁻¹: Spectra of the C-O-C stretching movement 1,695 cm⁻¹: Spectra of the C=O stretching movement

cm⁻¹ 程低波数に移動し 1,363 cm⁻¹ に確認された。アセトン濃度を 4.25, 8.5, 17 mM とすると、アセトンの CH₃ 変角運動に依存する 1,234 cm⁻¹ のピークは濃度依存的に 0.003, 0.564, 0.926 と吸光度をあげた。1,363 cm⁻¹ の吸光は 0.206, 0.386, 0.972 であった。

アセトンの C=O の伸縮運動のピークは 1,695 cm⁻¹ から 1,691 cm⁻¹ に移動し、1,649 cm⁻¹ に新しいピークを形成していた。アセトン濃度が 4.25, 8.5, 17 mM になると波数 1,691 cm⁻¹ のピークの吸光度はそれぞれ

2.331, 2.834, 2.882, 1,649 cm⁻¹ のピークの吸光度はそれぞれ 2.924, 2.312, 1.788, 1,624 cm⁻¹ の吸光度はそれぞれ 2.356, 2.266, 1.634 であった。波数 1,584 cm⁻¹ 付近に存在するアセトンの C-C 伸縮運動は観測されなかった (Fig. 7-a)。

ブドウ糖のフラノース環の C-O-C の伸縮運動によるピークはアセトン濃度 4.25 mM 添加により 1,080 cm⁻¹ に観測された。アセトン濃度を上昇させても吸光度に大きな変動はみられなかった。一方アセトン濃度

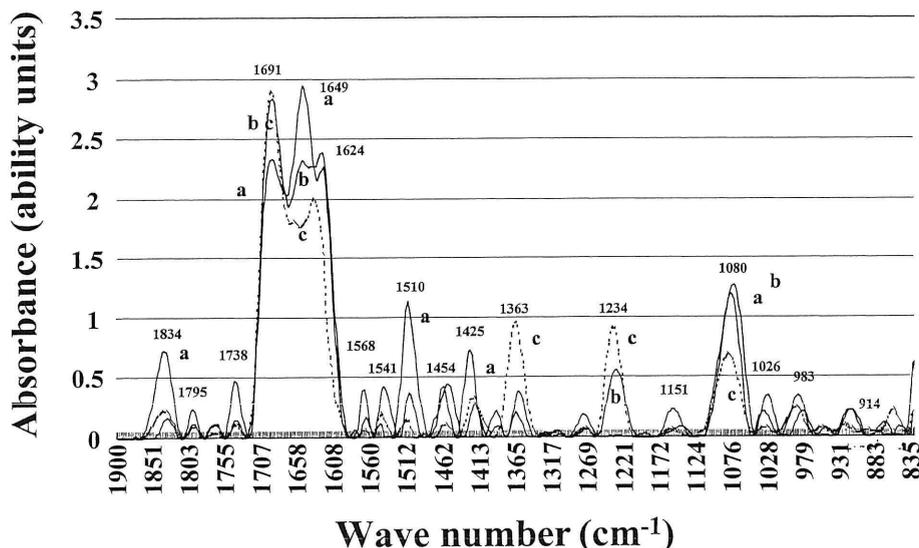


Fig. 7 Absorption spectrum at various concentrations (4.25, 8.5, 17 mM) of acetone dissolved in PBS containing 5 mM of glucose. When 4.25 mM of acetone was added (Fig. 7a), the peak of the CH_3 deformation movement specific for acetone was not observed at $1,236\text{ cm}^{-1}$. However, the peak that should have appeared at $1,365\text{ cm}^{-1}$ was observed at $1,363\text{ cm}^{-1}$. At acetone concentrations of 4.25 (Fig. 7a), 8.5 (Fig. 7b), and 17 mM (Fig. 7c), absorbance was 0.003, 0.564, and 0.926, respectively. At the peak of $1,234\text{ cm}^{-1}$ deformation movement showed an increase in absorbance. At $1,363\text{ cm}^{-1}$, absorbance was 0.206, 0.423, and 0.972, respectively. The peak of the glucose C-O-C stretching movement was noted at $1,080\text{ cm}^{-1}$ when 4.25 mM of acetone was added. Even when the acetone concentration was increased, there were no marked changes in absorbance. The peaks of 1834 , 1510 , and $1,425\text{ cm}^{-1}$, which were observed when 4.25 mM of acetone was added, were not present in the spectra of glucose alone or acetone alone.

4.25 mM 添加で生じた波数 1834 , 1510 , 1425 cm^{-1} のピークはブドウ糖やアセトン単体のスペクトルでは存在しないピークであった (Fig. 7-b)。

考 察

今回の実験では赤外吸収スペクトルを観測して、ブドウ糖濃度を測定しうるか否かを検討した。ブドウ糖が最も安定した状態にあると考えられる PBS 溶液中では、ブドウ糖の C-O-C の伸縮運動に依存した吸収ピークが $1,028\text{ cm}^{-1}$ 、 $1,078\text{ cm}^{-1}$ をはじめとする 4 つが得られた。 $1,028\text{ cm}^{-1}$ の吸光は他の 3 つの波長に比べて吸光度が高く、観測しやすい利点があり、本研究では $1,028\text{ cm}^{-1}$ の吸光は、ブドウ糖濃度 $125\sim 1,000\text{ mg/dl}$ の間ではブドウ糖濃度と吸光の間に $r=0.999$ と強い正相関を認め、低血糖時などの値には問題を残すものの、人の血糖変動範囲においても十分に有用な値が得られた。このことは非侵襲的な血糖の測定に新しい方法を提供する可能性を示すものであった。しかしながらブドウ糖濃度 62.5 mg/dl と低値の際には $1,028\text{ cm}^{-1}$ の吸光は $1,018\text{ cm}^{-1}$ へ約 10 cm^{-1} 移動した。この理由は明らかではないが、基線の揺れなどの影響も考えられた。

ブドウ糖の分子運動による赤外線のエネ

ルギーが吸収される波長の観測を利用してブドウ糖量を測定する本方法を人の血糖測定に応用するためには、今後いくつかの課題がある。

まず、人の組織のあるいは血中に存在する蛋白の吸光への影響を考えねばならない。蛋白はそれ自体分子振動により赤外線のエネ

しなかったことは、アルブミンとの結合に関係のないブドウ糖分子の振動による吸光と考えられた。アルブミンとブドウ糖の存在下ではアルブミンとブドウ糖が非酵素的に結合し、ケトアミンが形成され、ブドウ糖の分子振動が変わり吸光に対する影響がみられた。しかしながら $1,032\text{ cm}^{-1}$ の吸光で評価した成績では、ブドウ糖濃度と吸光の間に $r=0.991$ と高い相関が得られており、 $1,032\text{ cm}^{-1}$ を用いた本測定系ではブドウ糖とアルブミンの存在下でもブドウ糖測定が十分可能であるものであった。

糖尿病性昏睡時には体脂肪が分解され、血中には多量のアセトンが存在する。一方アセトンとブドウ糖の混和では、一般にアセトン糖が形成される。アセトン糖の形成は $1,695\text{ cm}^{-1}$ 付近の吸光の減少で推定された。ブドウ糖の6位のC-H-O (アルデヒド基) は $1,695\text{ cm}^{-1}$ 付近に吸光をみるが、ブドウ糖とアセトンが結合するため分子振動が変わり、吸光波長が三峰性となり、 $1,691\text{ cm}^{-1}$, $1,649\text{ cm}^{-1}$, $1,624\text{ cm}^{-1}$ に吸光のピークが得られるようになったと推定された。しかし波数 $1,028\text{ cm}^{-1}$ のピークの吸光はアセトン濃度に変化しても吸光量の変化をみずアセトンの存在は、アセトン糖が形成されたとしても本法においてはブドウ糖測定系に影響を与えないことが示された。

赤外分光法では光の深達度が問題となる。しかし赤外分光法を用いた検討で梶原らは口唇を用いた検討でブドウ糖濃度を測定することが可能であったことを報告し⁹⁾、また金澤は本法を用いて膀胱内のブドウ糖濃度が測定可能であったことを報告している¹⁰⁾。さらに中村らは血管のプラークの観察にて、血管内視鏡とATR spectroscopyの組み合わせにより、波長以上の深さの組織の反射光を観察できることを報告した¹¹⁾。このことは本法が血糖を測定出来る可能性を支持するものである。しかし、生体において赤外分光法を用いて血糖測定を行うためには、組織間隙液に含まれるブドウ糖を測定しているのか血漿中の糖を測定しているのか、あるいは結合組織と結合した糖は本法では測定されないのか否かなどの問題が残る。

おわりに

非侵襲的血糖測定法の開発の目的にてフーリエ変換FT-IRを用いた血糖の測定法について述べた。本方法は侵襲が少ないため、正確な血糖の測定が可能となれば、糖尿病患者の苦痛を減らすことが可能となる。その結果頻回の血糖測定が可能となり、現在以上

に良好な血糖のコントロールが得やすくなるため、糖尿病合併症の進展阻止におおいに役立つものと考えられる。しかし、生体試料の測定時の補正方法などの課題は今後検討していく必要がある。

謝 辞

本研究に際し懇意な御指導、御校閲を賜りました東京医科大学内科学第三講座林徹教授に深謝致します。研究にあたり、懇切な御指導いただきました生理学第二講座内野善生教授に厚く御礼申し上げます。また多大な御協力を戴きました東京医科大学内科学第三講座の教室員各位ならびに生理学第二講座の教室員各位に謹んで謝意をあらわします。

文 献

- 1) The Diabetes Control and Complications Trial Research Group: The effect of intensive treatment of diabetes on the development and progression of long-term complication in insulin-dependent diabetes mellitus. *N Eng J Med* **329**: 977-986, 1993
- 2) 荒井常憲、菊池眞: 経皮的血中濃度測定のための吸引浸出液取得法と性状に関する研究。医用電子と生体工学 **25**: 220-226, 1987
- 3) Kayashima S, Arai T, Kikuchi M, Sato N, Nagata N, Takatani O, Ito N, Kimura J, Kuriyama T, Kaneyoshi A: New Noninvasive Transcutaneous Approach to Blood Glucose Monitoring: Successful Glucose Monitoring on Human 75 g OGTT with Novel Sampling Chamber. *IEEE Trans Biomed Eng* **38**: 752-757, 1991
- 4) Robinson MR, Eaton RP, Haaland DM, Koeppe GW, Thomas EV, Stallard BR, Robinson PL: Noninvasive glucose monitoring in diabetic patients: A preliminary evaluation. *Clin Chem* **38**: 1618-1622, 1992
- 5) Kaiser N: Laser absorption spectroscopy with an ATR prism. *Applied Physics* **17**: 1-4, 1987
- 6) Heise H M, Marbach R: Multivariate Determination of Glucose in Whole Blood by Attenuated Total Reflection Infrared Spectroscopy. *Anal Chem* **61**: 2009-2015, 1989
- 7) 梶原研一郎、福嶋英生、七里元亮、河盛隆造、山崎義光: 非侵襲的血糖計測法の開発—ATRプリズムを用いたフーリエ変換赤外分光分析法による基礎的検討。 *Jpn J Artif Organs* **18**: 1328-1331, 1989
- 8) 梶原研一郎、福嶋英生、榊田典治、橋口恭博、七里元亮: 赤外分光分析法による血糖計測法の開発—差スペクトル法によるブドウ糖スペクトル分離・定量化の試み。 *Jpn J Artif Organs* **20**: 183-187, 1991
- 9) 梶原研一郎、西田健朝、橋口恭博、上原昌哉、榊田

- 典治、福嶋英生、七里元亮：赤外分光分析による血糖計測の開発—口唇粘膜スペクトル解析によるブドウ糖定量化。Jpn J Artif Organs **21**：1099-1103, 1992
- 10) 金澤真雄：赤外分光を用いたブドウ糖濃度の測定分光医学の応用（會沢勝夫、小野有武、西川弘恭、尾崎幸洋編）アイピーシー出版部、東京：69-83, 1999
- 11) Nakamura A, Koga T, Fujimaki M, Ohki Y, Sota T, Lipinska K K, Nagae T, Ishimaru S, Aizawa K : Application of Infrared Attenuated Total Reflection Spectroscopy to In Situ Analysis of Atheromatous Plaques in Aorta. Jap J Appl Phys **39** : L490-492, 2000

Measurement of glucose concentrations by infrared spectroscopy method

Chisaki INADA¹⁾, Masao KANAZAWA¹⁾, Katsuo AIZAWA²⁾

¹⁾The Third Department of Internal Medicine, Tokyo Medical University

²⁾The Second Department of Physiology, Tokyo Medical University

Abstract

We investigated a non-invasive infrared spectroscopy method to measure glucose concentration. A correlation between glucose concentrations and absorbance was found based on the property that infrared radiation is absorbed corresponding to a specific molecular vibration. Absorbance of glucose at a wavelength of $1,028\text{ cm}^{-1}$, which is considered to be derived from the expansion vibration of C-O-C, increased in accordance with the glucose concentration within a range from 125 to 1,000 mg/dl, showed a good correlation ($r=0.999$). The absorbance of glucose solution supplemented with 3 g/dl albumin also increased with increasing glucose concentration. When acetone was added to the glucose solution, absorbance due to the expansion vibration of C=O of acetone shifted from $1,695\text{ cm}^{-1}$ to $1,691\text{ cm}^{-1}$ and new absorbance was observed at $1,649\text{ cm}^{-1}$ and $1,624\text{ cm}^{-1}$, but absorbance of glucose was not affected. This method can be applied to measure glucose concentrations and may be useful for blood glucose measurement.

<Key words> Infrared spectroscopy method, Measure glucose concentration,
Molecular vibration, Acetone sugar
