

# 食事の Glycemic Index と生活習慣病一次予防

市川 陽子\*

Yoko Ichikawa

## はじめに

Glycemic Index (以下 GI) は、1981 年にカナダの Jenkins ら<sup>1)</sup> によって提唱され、国際的に標準化された、糖質を多く含む食品・食事の「食後血糖上昇能」である。食品に含まれる糖質の生理機能(=血糖上昇)の違いに着目して、一定量の糖質における生体内での機能を「質」的に評価するために開発された指標と位置づけられている。FAO/WHO は 1998 年に、先進国の人々が糖尿病、冠動脈疾患、肥満などの富裕層に共通する疾患を予防する策として、GI の低い食事を基本とするよう勧告している<sup>2)</sup>。本稿では、GI に関する話題を生活習慣病一次予防の観点からまとめることにする。

## 1. 生活習慣病一次予防における食後高血糖管理の意義

経口的グルコース負荷試験 (OGTT) による 2 時間後血糖値が、空腹時血糖値よりも独立かつ優れた循環器疾患の予測因子であることは、多くの大規模なコホート研究により明らかになっている<sup>3,4)</sup>。食後高血糖はインスリン分泌や代謝臓器に影響して慢性の代謝異常を引き起こすが (Fig. 1)、同時に食後高血糖を是正することで代謝指標が改善されることもわかっている。また、メタボリックシンドロームの基礎因子である肥満状態では、脂肪細胞が肥大

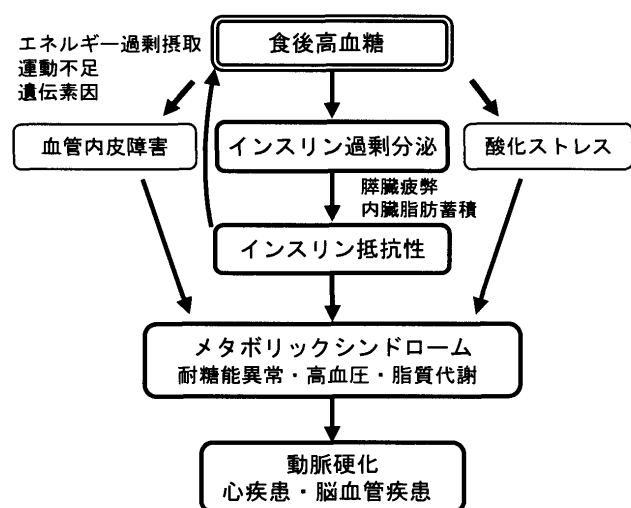


Fig. 1. 食後高血糖とメタボリックシンドロームリスク増加の関連

\* 静岡県立大学食品栄養科学部

(School of Food and Nutritional Sciences, University of Shizuoka)

化し、アディポサイトカイン分泌の調整不全が引き起こされ、炎症性サイトカイン (TNF- $\alpha$ ) の分泌が増加することで全身に潜在的な慢性炎症を引き起こす可能性が示唆されている。食後高血糖の抑制は、この炎症の改善にも関与する可能性がある。動物実験では、糖質の消化吸収を遅延させる薬剤 (ミグリトール) および食事因子 (小麦アルブミン、レジスタントスターチ) による食後高血糖の抑制が、脂肪組織における脂肪合成・蓄積関連遺伝子およびアディポネクチン遺伝子の発現を増大させ、インスリン抵抗性を改善するとともに、小腸糖質消化吸収遺伝子および末梢白血球における炎症関連遺伝子の発現を低下させることが示されている<sup>5-7)</sup>。

## 2. Glycemic Index (GI), Glycemic Load (GL) に配慮することの意義

GI は一定量の糖質を含む検査食摂取 2 時間後までの血糖曲線下面積 (IAUC) の、基準食の IAUC を 100 としたときの比率 (%) として、耐糖能異常のない被験者 6~10 名の平均値を用いて表される。当初基準食は 50 g のグルコースであったが、その後海外では白パン、わが国では日本 GI 研究会が Sugiyama ら<sup>8)</sup> の手法に基づき定めた統一プロトコールにおいて、特定の包装米飯 147 g (糖質量 50 g) を用いることとしている。また、グルコース基準では 70 以上を高 GI、69~56 を中程度 GI、55 以下を低 GI と定義している<sup>9)</sup> が、白米基準ではこれに 1.2 を乗じた<sup>8)</sup> 83 以上、82~65、64 以下の値を用いる。一方、Glycemic Load (GL) は、1 回の食事における総糖質量に占める各食品の糖質量の割合 (%) に、各食品の GI を乗じ、その合計で示される。「質」の指標である GI に「量」的評価が加わった指標であり、多くの研究で GI に加え GL と生活習慣病関連因子との関係についても同時に検討されている。

GI の低い食事は食後血糖の上昇が緩慢であり、インスリン過剰分泌を抑制する。しかし、日本人は長い間、摂取エネルギーの 50% 以上を高炭水化物食品から「主食」として摂取してきた。このことは、PFC バランスのよい日本型食生活を形成する一方で、日本人の平均的な食事の GI を高くした。もっともよく食べられる白米は高 GI 食品であり、食事における GI 寄与率は 6 割と極めて高い (Fig. 2)<sup>10)</sup>。米国では 19 万 7,228 人を対象としたコホート研究が行われ、白米の高頻度摂取群は玄米の高頻度摂取群に比べ、2 型糖尿病リスクが上昇することが指摘されて話題を呼んだ<sup>11)</sup>。

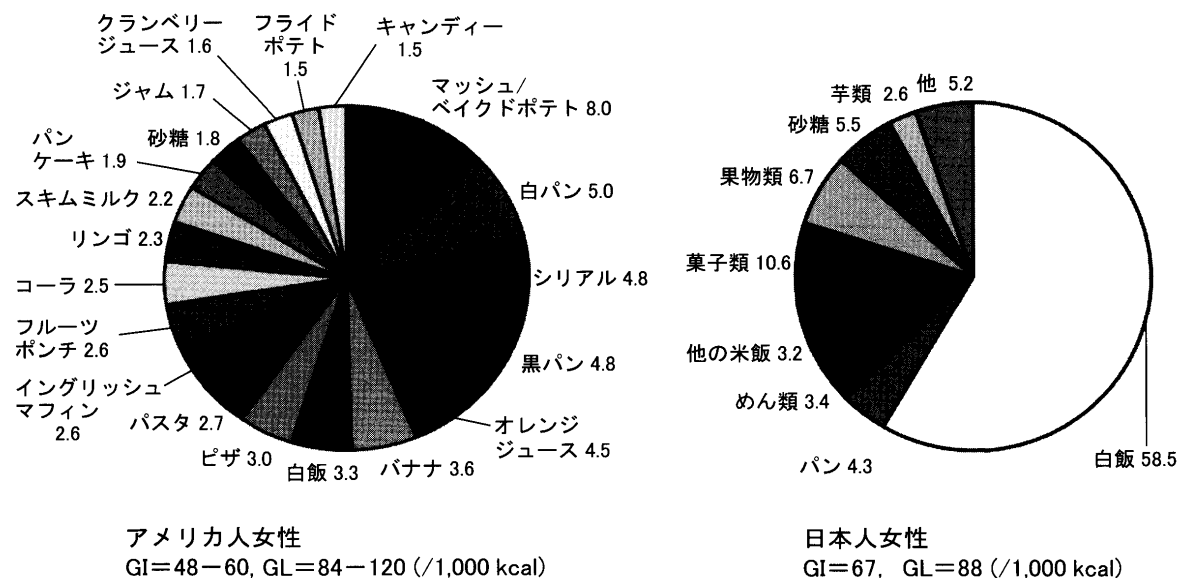


Fig. 2. グライセミック・インデックス (GI) への食品寄与率 (%)  
文献 11) より, 一部改変

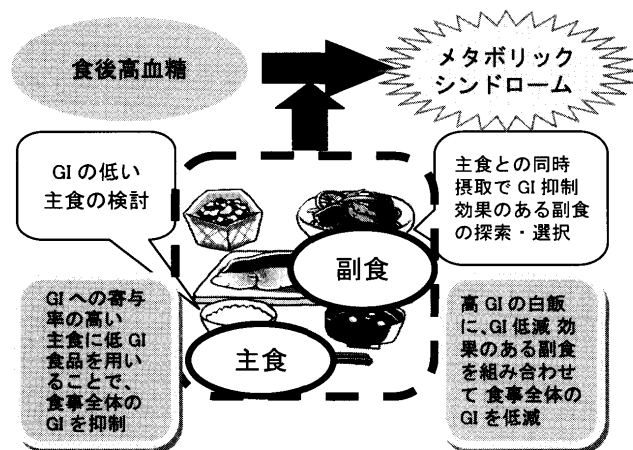


Fig. 3. 日本人の食事における食後高血糖を抑制する食事の検討

米の摂取頻度がはるかに多い日本人が日常の食事において GI に配慮することは、食後高血糖、耐糖能異常予防の観点から望ましい。

日本人の食事の低 GI 化を考える際、アプローチの方法は大きく分けて二つある。一つは、高 GI 食品である白米を低 GI 食品である玄米、全粒穀物、パスタ等に置き換える「主食の低 GI 化」であり、もっとも効率的に GI を低減できる。しかし、日本人の食文化である白米食を直ちに变えることは容易ではない。そこで二つめとして、主食と組み合わせることで食事全体の GI を抑える「副食」の選択を勧めていく必要がある (Fig. 3)。これについては後述する。低 GI の機序は、摂取した糖質の胃からの排出速度、腸管における消化吸收速度、インクレチン (GLP-1, GIP) 等によるインスリン分泌刺激に大きく分類され、様々な生体因子および食事因子により複合的に規定される (Fig. 4)<sup>12)</sup>。

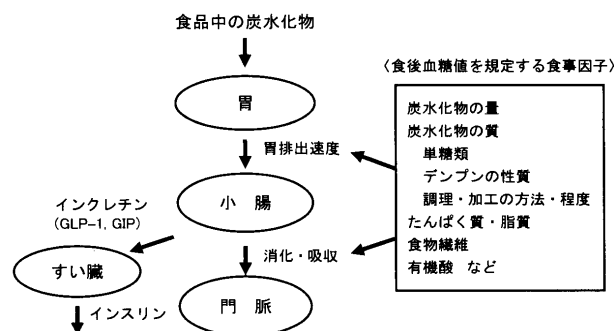


Fig. 4. 消化管において血糖上昇に関与している要因  
文献 13) より, 一部改変

### 3. GI, GL と生活習慣病関連因子に関するエビデンス

食事の GI, GL が 2 型糖尿病をはじめとする数々の疾患の発症に対して有意な関連を示すという報告は近年相次いでいる。疾病発症と GI, GL との関連を検討したコホート研究を解析したメタアナリシス<sup>13)</sup>では、ベースラインでの GI または GL によって対象を 5 群に分けた場合の最低群に対する最高群の発症リスクについて、2 型糖尿病 (GI, GL)、心筋梗塞 (GI)、乳癌 (GI)、胆嚢結石 (GI, GL) で有意な上昇が観察されている。さらに、脳卒中、大腸癌、すい臓癌、子宮体癌、胃癌、眼疾患を含めた全疾患でみると、GI 最高群で 1.2 倍、GL 最高群で 1.2 倍の発症リスク上昇であった (Table 1)。

研究開始時において健康な被験者を対象に、生活習慣病の進展と予防に対する GI の影響を検討した前向き観察研究 (日本人による検討 3 件を含む) のメタアナリシスでは、GI と肥満との関連がまとめられている<sup>14)</sup>。ほとんどの研究で GI と肥満度には一定の関係が得られていないが、交

## 食事の Glycemic Index と生活習慣病一次予防

Table 1. GI, GL と各種生活習慣病との関連を検討したコホート研究のまとめ<sup>13)</sup>

| 疾病 (件数) | GI に関する研究 |                     |         | GL に関する研究           |         |
|---------|-----------|---------------------|---------|---------------------|---------|
|         |           | 発症率の比 <sup>†)</sup> | p       | 発症率の比 <sup>†)</sup> | p       |
| 2 型糖尿病  | (6)       | 1.40(1.23, 1.59)    | <0.0001 | 1.27(1.12, 1.45)    | <0.0001 |
| 心疾患     | (2)       | 1.25(1.00, 1.56)    | 0.050   | 1.57(0.87, 2.84)    | 0.140   |
| 脳卒中     | (1)       | 1.02(0.86, 1.21)    | 0.805   | 1.28(0.83, 1.98)    | 0.270   |
| 乳癌      | (5)       | 1.09(1.02, 1.16)    | 0.015   | 0.99(0.92, 1.06)    | 0.797   |
| 大腸癌     | (4)       | 1.11(0.99, 1.24)    | 0.059   | 1.11(0.88, 1.40)    | 0.385   |
| すい臓癌    | (2)       | 0.98(0.78, 1.25)    | 0.896   | 0.96(0.75, 1.23)    | 0.733   |
| 子宮体癌    | (2)       | 1.13(0.80, 1.60)    | 0.489   | 1.72(0.75, 3.95)    | 0.204   |
| 胃癌      | (1)       | 0.77(0.46, 1.29)    | 0.320   | 0.76(0.46, 1.25)    | 0.282   |
| 胆嚢疾患    | (2)       | 1.26(1.13, 1.40)    | <0.0001 | 1.41(1.25, 1.60)    | <0.0001 |
| 眼疾患     | (3)       | 1.10(0.91, 1.31)    | 0.323   | 0.96(0.82, 1.12)    | 0.590   |
| 全疾患     | (27)      | 1.14(1.09, 1.19)    | <0.0001 | 1.09(1.04, 1.15)    | <0.0001 |

†) ベースライン時の GI または GL によって対象を 5 群に分けた場合の最低群と最高群における発症率の比 (95% 信頼区間)  
文献 13) より, 一部改変

絡因子を統計学的に調整した報告においては「有意な関連あり」と結論づけているものが多い。Murakami ら<sup>15)</sup> は、18~20 歳の健康な日本人大学生女子 3,931 人を対象に食事摂取頻度調査からの推定 GI および GL と BMI との関連を検討し (交絡因子調整), GI, GL のいずれも食物繊維摂取量とは独立かつ有意に BMI と関連することを報告している。さらに、習慣的な食事における低 GI 群ほどメタボリックシンドローム関連因子 (中性脂肪, 空腹時血糖, HbA1c, フルクトサミン) が有意に減少し, HDL-コレステロールについては有意に上昇するという結果は、多くの研究で支持されている<sup>11, 16, 17)</sup>。しかしながら、GI に十分配慮した食事の確実な摂取により糖質の消化吸収を制御した結果、ヒトの糖代謝、脂質代謝および慢性炎症状態にも改善がみられることを、前向き介入試験で検討した例はまだ少ない。一定の食事パターンが肥満をはじめとする生活習慣病関連指標の改善に対して有効であり、かつ安全であることを立証するためには、中・長期間にわたる継続摂取による効果判定を、脱落率の少ない方法で行うことが必要であり、日本人を対象とした今後の研究が望まれる。

## 4. 食品の組合せと食後血糖の変動

昨今、GI に着目した食品の商品化も進められているが、単独摂取では低 GI を示す食品であっても、主食との「組合せ食」や、主食、主菜、副菜のそろった「複合食」に用いると GI 低減効果がみられず、また GI の推定値と実測値が乖離する場合が少なくない。それゆえ、GI に影響を与える食品またはその成分の探索と作用機構の解明を行うと同時に、食事全体での GI 評価は不可欠である。

わが国では、Sugiyama ら<sup>8)</sup> が米飯と副食 (酢、乳製品を含む) との組合せ食の GI を発表し、日本人の習慣的な「ごはん食」の食べ方について GI の観点から検討している。Taniguchi ら<sup>18)</sup> は、米飯と納豆との組合せ食および米飯、納豆、長芋、オクラを用いた粘性食 (複合食) 摂取後の

Table 2. 芋類および米飯と芋類の組合せの Glycemic Index 実測値と推定値<sup>19)</sup>

| 検査食          | n | GI  |                   |
|--------------|---|-----|-------------------|
|              |   | 実測値 | 推定値 <sup>†)</sup> |
| 白米           | 9 | 100 | —                 |
| 芋類           |   |     |                   |
| さつまいも        | 9 | 100 | —                 |
| じゃがいも        | 9 | 98  | —                 |
| じゃがいも (マッシュ) | 7 | 139 | —                 |
| 里芋           | 8 | 90  | —                 |
| 長芋 (加熱)      | 9 | 100 | —                 |
| 長芋 (生)       | 7 | 10  | —                 |
| とろろ          | 7 | 9   | —                 |
| 白米+芋類        |   |     |                   |
| さつまいも        | 8 | 117 | 100               |
| じゃがいも        | 9 | 102 | 100               |
| じゃがいも (マッシュ) | 7 | 114 | 108               |
| 里芋           | 8 | 111 | 98                |
| 長芋 (加熱)      | 9 | 113 | 100               |
| 長芋 (生)       | 9 | 86  | 82                |
| とろろ          | 7 | 85  | 82                |

†) GI 推定値 =  $\Sigma(\text{食品の GI} \times \text{摂取量当たりの糖質量}) / \text{総糖質摂取量}$   
検査食は糖質 50 g 相当量を摂取した  
白米+芋類は、糖質量比で白米:芋類 = 4:1 になるように調製した

血糖、血清インスリン、中性脂肪、遊離脂肪酸の変動を検討し、粘性食が血糖とインスリン分泌の双方を抑制することを報告している。また著者の研究室の Wakasugi ら<sup>19)</sup> は、副食となる食品中、GI 寄与率の高い芋類について、芋の種類および調理方法別に単独摂取、組合せ食、複合食での食後血糖変動を検討しており、ここでも生の長芋が米飯との組合せ食において有意に GI を低減すること、この効果は加熱調理した長芋では得られないことを示した (Table 2)。芋類を使った料理の GI が加熱方法の影響を受けること<sup>20)</sup>、加熱後冷却により食後血糖およびインスリン応答を抑制すること<sup>21)</sup> については海外でも複数の報告があり、後者についてはレジスタント・スターチ等のルミナコイドによるインクレチン分泌の誘導が理由として考えられる。

さらに、健常者<sup>22)</sup>、糖尿病患者<sup>23)</sup>を対象に、野菜サラダ(オリーブオイル、酢を含む)と米飯の摂取順序の違いが、食後血糖、インスリン反応に及ぼす影響に関する研究も相次いで発表され、いずれも野菜サラダを米飯より先に食べた場合に、血糖上昇、インスリン分泌が抑制されることが報告され、保健指導、糖尿病患者に対する栄養教育への応用が期待できる。

### おわりに

高GIである白米を主食とする日本人が、日々摂取する食事のGIを習慣的に低く抑えること、そのような「食べ方」を探索することは、食後高血糖に端を発する生活習慣病の予防に対して大きな意味をもつ。GIの複合食での検討は始まったばかりである。今後は、調理・加工方法や調味料添加の影響についても詳細な検討が行われ、日本人の食事におけるGI低減の法則性を見出すことが求められる。

### 文 献

- Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Taylor, R. H., Barker, H., Fielden, H., Baldwin, J. M., Bowling, A. C., Newman, H. C., Jenkins, A. L. and Goff, D. V. (1981), Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange, *Am. J. Clin. Nutr.*, **34**, 362-366
- FAO/WHO Expert consultation (1998), "Carbohydrates in Human Nutrition", FAO/WHO Food and Nutrition, Geneva, pp. 1-66
- The DECODE study group and the European Diabetes Epidemiology group (2001), Glucose tolerance and cardiovascular mortality, *Arch. Intern. Med.*, **161**, 397-405
- Nakagami, T., DECODE study group (2004), Hyperglycaemia and mortality from all causes and from cardiovascular disease in five populations of Asian origin, *Diabetologia*, **47**, 385-394
- Shimada, M., Mochizuki, K. and Goda, T. (2009), Feeding rats dietary resistant starch shifts the peak of SGLT 1 gene expression and histone H3 acetylation on the gene from the upper jejunum toward the ileum, *J. Agric. Food. Chem.*, **57**, 8049-8055
- Murayama, Y., Mochizuki, K., Shimada, M., Fujimoto, S., Nukui, K., Shibata, K. and Goda, T. (2009), Effects of wheat albumin consumption on expression of genes related to lipogenesis and insulin sensitivity in adipose tissue, *J. Agric. Food. Chem.*, **57**, 1606-1611
- Fujimoto, S., Mochizuki, K., Shimada, M., Murayama, Y. and Goda, T. (2008), Variation in gene expression of inflammatory cytokines in leukocyte-derived cells of high-fat-diet-induced insulin-resistant rats, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **72**, 2572-2579
- Sugiyama, M., Tang, A. C., Wakaki, Y. and Koyama, W. (2003), Glycemic index of single and mixed meal foods among common Japanese foods with rice as a reference food, *Eur. J. Clin. Nutr.*, **57**, 743-752
- Brand-Miller, J., Wolever, T. M., Foster-Powell, K. and Colagiuri, S. (2003), "The New Glucose Revolution", Marlowe & Company, New York
- Murakami, K., Sasaki, S., Takahashi, Y., Okubo, H., Hosoi, Y., Horiguchi, H., Oguma, E. and Kayama, F. (2006), Dietary Glycemic index and load in relation to metabolic risk factors in Japanese female farmers with traditional dietary habits, *Am. J. Clin. Nutr.*, **83**, 1161-1169
- Sun, Q., Spiegelman, D., van Dam, R. M., Holmes, M. D., Malik, V. S., Willett, W. C. and Hu, F. B. (2010), White Rice, Brown Rice, and Risk of Type 2 Diabetes in US Men and Women, *Arch. Intern. Med.*, **70**, 961-969.
- Riccardi, G., Rivellese, A. and Giacco, R. (2008), Role of glycemic index and glycemic load in the healthy state, in prediabetes, and in diabetes, *Am. J. Clin. Nutr.*, **87** (Suppl.), 269 S-274 S
- Barclay, A. W., Petocz, P., Mcmillan-Price, J., Flood, V. M., Prvan, T., Mitchell, P. and Brand-Miller, J. C. (2008), Glycemic index, glycemic load, and chronic disease risk—a meta-analysis of observational studies, *Am. J. Clin. Nutr.*, **87**, 627-637
- Hare-Bruun, H., Nielsen, B. M., Grau, K., Oxlund, A. L. and Heitmann, B. L. (2008), Should glycemic index and glycemic load be considered in dietary recommendations? *Nutrition Reviews*, **66**, 569-590
- Murakami, K., Sasaki, S., Takahashi, Y., Okubo, H., Hosoi, Y., Itabashi, M. and the Freshmen in Dietetic Courses Study Group (2007), Dietary fiber intake, dietary glycemic index and load, and body mass index: a cross-sectional study of 3931 Japanese women aged 18-20 years, *Eur. J. Clin. Nutr.*, **61**, 986-995
- Venn, B. J. and Green, T. J. (2007), Glycemic index and glycemic load: measurement issues and their effect on diet-disease relationships, *Eur. J. Clin. Nutr.*, **61** (Suppl.), S 122-S 131
- Finley, C. E., Barlow, C. E., Halton, T. L. and Haskell, W. L. (2010), Glycemic index, glycemic load, and prevalence of the metabolic syndrome in the Cooper center longitudinal study, *J. Am. Diet. Assoc.*, **110**, 1820-1829
- Taniguchi, A., Yamanaka-Okumura, H., Nishida, Y., Yamamoto, H., Taketani, Y. and Takeda, E. (2008), Natto and viscous vegetable in a Japanese style meal suppress postprandial glucose and insulin responses, *Asia. Pac. J. Clin. Nutr.*, **17**, 663-668
- Wakasugi, Y., Hashizume, S., Sano, A., Mochizuki, K., Goda, T. and Ichikawa, Y., Glycemic indices of potatoes commonly eaten in Japan is influenced by combination with white rice, *Asia. Pac. J. Clin. Nutr.* (submitted)
- Bahado-Singh, P. S., Wheatley, A. O., Ahmad, M. H., Morrison, EYStA. and Asemota, H. N. (2006), Food processing methods influence the Glycemic indices of some commonly eaten West Indian carbohydrate-rich foods, *Brit. J. Nutr.*, **96**, 476-481
- Leeman, M., Östman, E. and Björck, I. (2005), Vinegar dressing and cold storage of potatoes lowers postprandial glycaemic and insulinaemic responses in healthy subjects, *Eur. J. Clin. Nutr.*, **59**, 1266-1271
- 金本郁男, 井上裕, 守内匡, 山田佳枝, 居村久子, 佐藤眞治 (2010), 低 Glycemic Index 食の摂取順序の違いが食後血糖プロファイルに及ぼす影響, *糖尿病*, **53**, 96-101
- 今井佐恵子, 松田美久子, 藤本さおり, 宮谷秀一, 長谷川剛二, 福井道明, 森上眞弓, 小笹寧子, 梶山静夫 (2010), 糖尿病患者における食品の摂取順序による食後血糖上昇抑制効果, *糖尿病*, **53**, 112-115