

# 体感气候研究

【日】坂上 务

序 生理气象学是研究大气现象与生命现象之间的关系的一门学科，研究范围非常广泛。农作物和森林都依存于天气，家畜、家禽和其他各种动物以年为周期的繁殖、移动和冬眠也是由全年的天气过程决定的。尽管人类渴望摆脱各种自然力的影响，但是在情绪和身体反应方面我们仍然在很大程度上受着天气的支配。

人体通过皮肤及肺泡粘膜与大气接触，通过它们的媒介作用，体内组织接受大气的影 响，受到各种各样的作用。一般如果外部环境变化不大，通过内环境的调节可以修正平衡中出现的微小紊乱，从而使机体在生理上保持一定的平衡状态。这就是通常所说的“维持恒常性”。周围环境的适当刺激对于维持人体的活动是不可缺少的，但是一旦刺激过强就会引起各种疾病。所以，作为对外部环境的适应，一方面我们应该增强机体自身对气候的适应能力，另一方面通过衣、住（食）或者更大规模的自然改造征服气候环境。另外，动物和人也常常迁移或者避暑、避寒，以寻找气候比较舒适的栖息地。关于体感气候过去做过很多研究，在此想就气候（气象）和人体的反应，首先从健康人的体感和气候要素的关系入手，然后在此基础上

划分日本的体感气候区，并对体感季节做一些探讨。希望能够获得生理气象方面的一些基础数据。

内 容 体感主要与身体表面的热量收支有关。热量收支既和气温与皮肤温度的差值有关，也和温度、风速等气象要素有关。过去人们为了综合表示与人的主观体感十分协调的气象要素，不断地进行着各种尝试。

人的体感之所以能够保持一定，是因为人体在体内不断产生热量的同时，也通过皮肤和粘膜面不断地向外散热，中间起调节作用的是人脑的热调节中枢。

热量的产生主要是肌肉和肝脏内的物质代谢的结果，体内热量与外界交换的方式如下。括号内的百分比是在常温、无风、直立、轻装的情况下的估计值。

$$M - (R + C + V + A + a) = \pm S$$

M: 机体产生的热量; R: 皮肤表面的辐射散热(42%); C: 对流、传导散热(26%); V: 皮肤表面的蒸发散热(28%); A: 呼吸散热(3%); a: 排泄散热(1%); S: 身体蓄热(±)。

人体感到寒冷是因为上式右边的值不断减小，其原因可能是M值减小，或者是括号内除a以外的一些项的值变大。

从1990年小芜菁的栽培试验结果来看，在堆肥施用区，特别是小芜菁根部成长良好，T/R（叶重/根重）比小。连续施用堆肥给旱地土壤带来良好的影响，效果明显。

家庭用的发酵垃圾箱应实用化，降低垃圾箱的制造费，免费传授使用方法。假设在日本3万世带地区的家庭中使用发酵垃圾箱，或只用生活垃圾或添加锯末子等材料，以“发酵物A”3个月为一期，假定回收约15/的话，一天平均“发酵物A”的收集量约5 m<sup>3</sup>。把这些东西用处理能力为3 m<sup>3</sup>的发酵回转桶进行一天两次发酵处理，进一步再用简易熟化槽两个月使之熟化，一天约4 m<sup>3</sup>·2 t（考虑原材料利用率为80%），那么，一年间就生产出700 t的熟化堆肥，这是很可观的。

赵佩心摘自《农业土木学会志》第59卷第7号

因此,人体散热主要是在皮肤表面通过辐射、传导和水分的蒸发进行的。并且在不同的空气条件下,人体的散热可以自发地进行调节,如果辐射和传导散热减少,则蒸发散热相应增加,以保证人体一定的散热量。下面分析一下辐射、传导、对流和蒸发这四个因子的散热方式。

1. 辐射散热量 皮肤和衣服的表面温度比人体周围物体的表面温度高,所以热量就从皮肤和衣服表面直接传递给周围的物体,这就是辐射。辐射散热量可以通过下面的斯蒂芬-波尔兹曼公式来计算:

$$R = \sigma (T_s^4 - T_w^4) E_s \cdot E_w \cdot O_w \cdot t$$

$R$ : 辐射散热量;  $\sigma$ : 常数  $1.37 \times 10^{-12} \cdot \text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ ;  $T_s$ : 皮肤的平均温度 (绝对温度);  $T_w$ : 气温 (绝对温度);  $E_s$ : 皮肤表面的辐射能力  $\approx 1$ ;  $E_w$ : 周围物体表面的辐射能力  $\approx 1$ ;  $O_w$ : 皮肤的有效辐射面积;  $t$ : 时间 (sec)。

所以一天的辐射散热量为

$$R = \sigma (T_s^4 - T_w^4) \times O_w \times 86400$$

由上式可知,辐射散热量与身体表面温度和周围物体温度 (绝对温度) 的四次方差成正比,近似地可以认为与二者的温度差成正比。

2. 传导和对流散热量 如果有风,即使是在相同气温下也会感到凉爽些,这是因为旺盛的对流使得热量更容易从皮肤表面散失掉。对流和传导散失的能量以热量为主,如下式所示,维持散热过程的是人体的皮肤与周围空气的温度差。

$$C = K_c \sqrt{V} (t_s - t_a) \cdot O_w$$

$C$ : 传导、对流散热量 ( $\text{cal} \cdot \text{hour}^{-1}$ );  $K_c$ : 比例常数,也叫传导系数;  $V$ : 风速 ( $\text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ );  $t_s$ : 人体表面的平均温度 ( $^{\circ}\text{C}$ );  $t_a$ : 气温 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

其中的  $K_c$  又叫传导系数,其大小因环境条件 (气温等),人的体型、姿势的不同而有所变化,对于人体来说一般取  $1.58 \sim 2.52$ 。

皮肤的热传导率为  $0.00046 \sim 0.00052 \text{ cal}$

$\cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$ , 约为水的热传导率  $0.0014 \sim 0.0015$  的三分之一。

靠近皮肤的空气受辐射和传导的影响而逐渐升温并产生对流,使散热的速度加快。但是如果有风也会产生对流而加快散热速度。

3. 蒸发散热量 人体表面的水分蒸发是在皮肤和呼吸道粘膜上进行的,在全部损失的水分中,除去汗液,剩下的称为无感觉蒸发水分量,把皮肤和呼吸道粘膜上蒸发的部分加起来,每天为  $700 \sim 900 \text{ cal}$ 。在温度  $19 \sim 20^{\circ}\text{C}$ 、湿度  $30 \sim 55\%$  的空气中,无感觉蒸发水分量为  $19.7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hour}^{-1}$ ,从呼吸道内蒸发的部分约占  $36\%$ ,所以在数值上可以认为由皮肤蒸发的水分约为  $500 \text{ g} \cdot \text{日}^{-1}$ ,由呼吸道蒸发的水分为  $300 \text{ g} \cdot \text{日}^{-1}$ 。

无感觉蒸发水分量最多的部位是手掌、脚和脚掌,是人体其它部位的  $5 \sim 15$  倍。其次是前额、面颊、颈等经常暴露的部位。最少的是平时总是用衣服遮盖着的部位。呼吸道的水分蒸发与皮肤类似,肺泡里的水分经过粘膜的组织间隙直接蒸发出去。水的蒸发潜热在  $0^{\circ}\text{C}$  时是  $596 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$ , 在  $100^{\circ}\text{C}$  时是  $539 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$ ; 实际上若把水分蒸发时的皮肤温度看作是平均  $33^{\circ}\text{C}$ , 则这时水的蒸发潜热约为  $580 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$ 。因此,如果把一天的总无感觉蒸发水分量看作是  $700 \sim 900 \text{ g}$ , 则一天中总的蒸发散热为  $406 \sim 522 \text{ Kcal}$ 。这样,由热量的蒸发连同对流和辐射共同作用,形成了有效的人体散热机制。

人体内的热量通过人体的散热器官—皮肤传递到外界。一般,外界的空气从人体夺取热量会使人体冷却,这种冷却是通过辐射、传导、对流和水分的蒸发来实现的,因此,空气的冷却能力是由空气与人体表面的温度差、空气的湿度 (饱和差) 和风速三个因素决定的。如果能用一个指标来表示空气的这种性质将是很方便的,而且寻找一个综合性指标来衡量空气对人类其他动物的体温调节机能的影响程度也是很有必要的。为此我们选择了湿球温度作为这一指标,湿球温度和

与温度、湿度、风速成比例的水的蒸发力是相关的,因此我们这样做也许是比较恰当的。

**体感感测的目的和方法** 我们知道,对一年四季的季节变化的适应是生物体的本能反应,生物体自然而然地发挥着它的适应性,在正常情况下有机体能够很自然地适应一年当中的季节变化。体感研究就是以人的体感与外界气候条件的相关性为研究目的的。

体感即使是在相同的气候条件下也存在着季节差异。很显然,暖季里使人体感到舒适的温度比冷季更高。人体对季节的适应以及不同季节的衣着变化也说明了这一点。关于人体的舒适范围,Yaglou和丹羽孝一等人已经做了很多卓有成效的工作,并且正在引起人们的注意。本文拟对体感究竟与哪些气候要素关系最密切进行探讨,同时确定出暖季和冷季人体的舒适范围,并研究二者之间存在显著差异的原因。

具体做法是:在别府市鹤见原的九州大学温泉治疗研究所,连续三年(1961—1963)

每天上班以后九点钟左右,在研究所的前院,参加测试者根据体感表感测各自的体感。鹤见原位于别府市内地势较高处,九大温泉研究所座落在鹤见原的一片生长于缓坡上的松林里,感测在研究所朝南的院子里进行,院内最整洁。这里的海拔是126M,向东可以望见别府湾,四周是松林,通风良好,但是风很大。特别是,这里可以不受北风的影响,参加感测的人是从研究所的工作人员中挑选的,身体健康并且年龄相差不大,男女各

表1 体感指数表

指数	意义	指数	意义
-7	严寒	+1	温适
-6	寒冷	+2	温暖
-5	冷	+3	稍热
-4	较冷	+4	较热
-3	稍冷	+5	热
-2	凉爽	+6	炎热
-1	爽适	+7	酷热
0	最舒适		

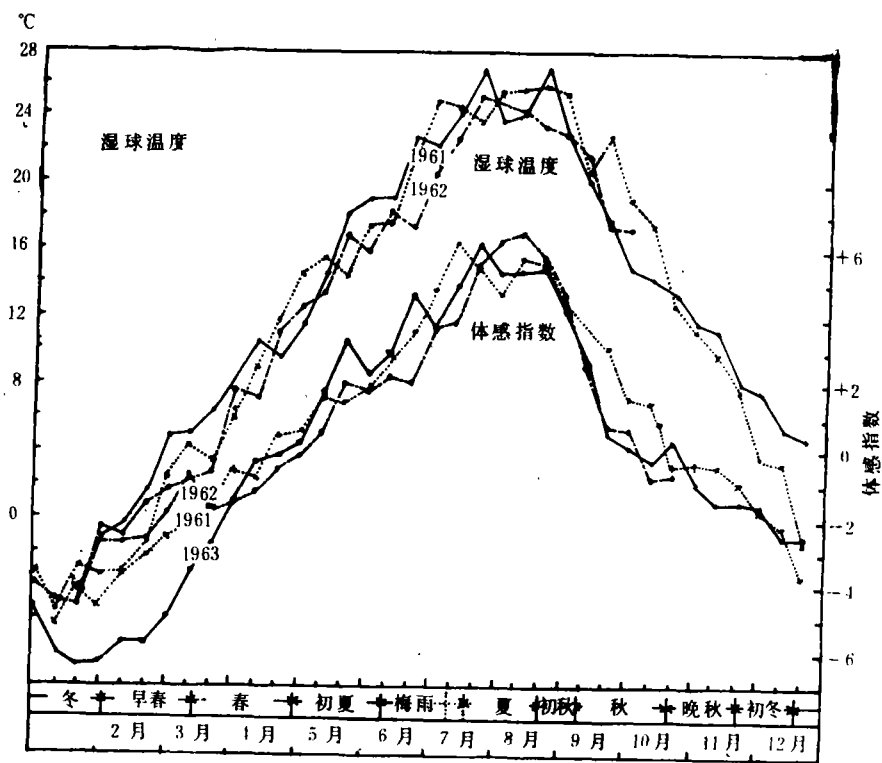


图2 湿球温度和体感指数的季节变化

5 名。

气候体感是基于人体对于气候的寒、暖、冷、热的感觉，这种感觉可以分为舒适和不舒适。舒适可以划分为三级：不舒适有冷、热之分，再分别按温度顺序各分为六级，如表 1。

以+7~+2（热感）、+1~-1（舒适）、-2~-7（冷感）分别作为十五个等级的体感指数，每个人每天记录自己的体感指数，每月汇总一次。这里以-1和+1分别表示凉适和温适是因为在冷季和暖季人体对舒适的感受有所不同。从感测的结果来看，有的人只有两个等级，而有的人有四个，而且有时数据搞得很乱，这也是难免的。因为虽然术语是相同的，但是这些术语都是主观的和抽象的。最后把每天的感测结果进行平均作为这一天感测到的体感。相关的各气象要素的数据是从位于研究所前院一角的露天气象观测台（图 1 略）获得的。

**结果** 感测结果如图 2 下方的三条折线所示。这些体感指数是把感测者的感测结果的平均值按旬整理之后得到的，上面的三条折线是对应的湿球温度（实测）。把体感指数的月平均值分别与湿球温度、温度、湿卡他温度和干卡他温度的月平均值做相关分析得到表 2。

自由度  $N-2=10$ ，所以 5% 置信度对应的临界值为 0.576，1% 置信度对应的临界值为 0.708。无疑，表中的数字很有意义，显示了很高的相关性。

由表中可见，湿球温度的年际变化较大，但它与主观性很强的体感指数的相关性很高。考虑到人体的散热机制，这也是理所当然的。把体感指数的旬平均值（S）与湿球温度（ $t_w$ ）进行回归，得到二者的关系如图 3 可以用方程  $S=0.321t_w-3.302$  来表示。

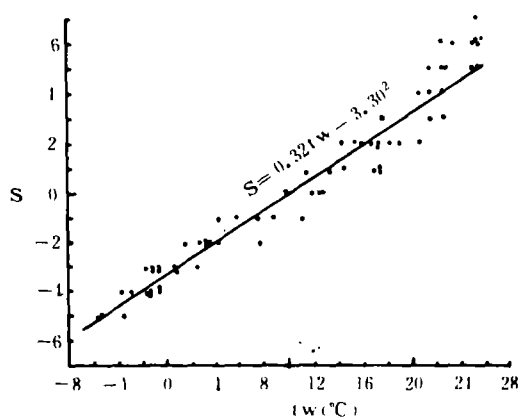


图 3 体感指数（S）与湿球温度（ $t_w$ ）的关系

**分析** 关于体感的年际变化，图 2 是用各年的体感指数和湿球温度的旬平均值绘出的折线图。从图中看，各年的变化趋势是一致的。湿球温度与体感指数的变化极其一

表 2 体感指数与各气候要素的相关系数

要素 \ 年	1961	1962	1963	均值
湿球温度	0.879	0.948	0.981	0.936
干球温度	0.791	0.842	0.969	0.867
湿卡它温度	-0.876	-0.939	-0.910	-0.904
干卡它温度	-0.845	-0.942	-0.910	-0.899

致，而且仔细观察还会发现，体感指数在高温时和低温时的峰和谷要比湿球温度的变化稍微平缓一些，这是人体对气候适应的结果。

从这三年的感测结果看，如图 2，在九大温泉研究所，体感指数-5 以下，湿球温度低于-3℃的严寒期是从 1 月初到 2 月上

旬的 40 天；相反，体感指数+5 以上，湿球温度高于 23℃的酷暑期是从 7 月中旬梅雨期结束到 8 月中旬的 40 天，体感指数在+1~-1 之间是一年当中气候最好的时期，包括春季的 4 月一个月和秋季 10 月下旬到 11 月中旬的一个月。

对于舒适的体感，在体感表中我们是以-1、0、+1作为其指数的，观察发现，它和湿球温度的变化非常一致。各月的体感舒适时期的气候状况见表3的最下面。可以看出，各月的差别很大，以往的结果为干球温度17~24℃，与此不同，我得到的舒适温度范围是12~22℃，上下限分别低了5~2℃。原因首先是感测时人的着衣情况不同；其次，到温泉研究所上班时要爬一个缓坡，所以参加感测的人不是在坐着工作时而是在从事了轻度运动后进行感测的。进一步仔细观察相同条件下（作者指的是相对湿度相同，译者注）各月的舒适体感温度我们还会发现，气温上升时期比气温下降时期要高出大约3℃这同样也是人体适应气候的结果。

图4（略）显示了体感指数在+1~-1之间的舒适体感温度的月际变化，同时与Yaglou的结果进行了比较。可以发现，除了6月、9月的高温期之外，其余的都移到了温度很低的一侧，原因如前所述，感测者是在室外从事了轻度运动后进行感测的，可能还有一个原因，即日本人对气候的反应有所不同。

**体感气候区** 我们知道，人体对气候的直接感受与一般的气象观测得到的结果未必一致。比如人体对于气候的冷暖的感觉决不仅仅凭气温，气温无疑是最重要的因素，此外还受湿度、风等因素的影响。用湿球温度来表示日常生活中的人对气候的冷暖感觉是最合理的，基于这种观点，我们研究了与

表3 舒适体感与温度

通常的舒适体感温度的测试对象是在室内正常着衣、处于休息状态的人，但作者的测试对象正常着衣并在室外从事了轻微的运动。

季 节		夏 季			冬 季			
姓名	要素							
丹羽孝一	干球湿度 $t_d$ (°C)	20—24			18—22			
	湿球温度 $t_w$ (°C)	18—22			15—19			
雄方维弘	$t_d$ (°C)	19—24			17.5—21.5			
	$t_w$ (°C)	18.9—23.9			17.2—21.1			
C.P. YAGLOU	$t_d$ (°C)	20—28			18—25			
	$t_w$ (°C)	13—22			11—19			
ASHVE	$t_d$ (°C)	18.9—21.9 (相对湿度 30—70%)						
坂上 务	要素 \ 月	3 月	4 月	5 月	6 月	9 月	10 月	11 月
	$t_d$ (°C)	12—15	13—18.5	14.5—20	17—22	22.5—18	22—15	17—22
	$t_w$ (°C)	6.5—11.5	7.5—15	9.5—16.5	11.5—17.5	18—11.5	17—9.5	14—7

体感关系极为密切的湿球温度在日本的分布和体感季节，结果如下。

关于风速的影响，根据以前的实验，在大多数情况下水的蒸发量与风速的平方根成正比。但是实际上风的影响是极其复杂的。由于人们对风往往采取一些防护措施，再加上在人类活动的地面附近风速往往很小，所以风的影响可以忽略。一般的气候表里没有湿球温度，需通过气候表中的温度和湿度计

算求得。下面是计算湿球温度的公式。

$$T_w = T_A - \frac{1.560}{P} (E T_w - e)$$

$T_A$ ：干球湿度； $T_w$ ：湿球温度； $P$ ：气压（湿球结冰时分子取1.770）； $E T_w$ ： $T_w$ °C时的最大水汽压； $e$ ：当时的空气中的水汽压。

从公式可以看出，即使气温很高，当水汽压很小时右边第二项较大，因而湿球温度较低。这说明空气干燥时即使气温很高我们

也可以忍受。式中的气压就是地表大气压，其变化很小，可以近似地看作常数。

湿球温度是一个综合性的气候要素，对于研究体感气候的分布有很高的实用价值。图5（略）是通过湿球温度各月的平均值得到的日本的湿球温度分布图。

湿球温度的另一个应用是通过它来研究日本各地的季节更替，结果如图6（略）。各季节的命名以表4为准。划分依据如下：

表4 湿球温度与季节

湿球温度T <sub>w</sub> (℃)	季 节	体感指数
< -3	严 冬	< -5
-3 ~ 2	隆 冬	-3
2 ~ 7	早春, 初冬	-1
7 ~ 12	春, 晚秋	0
12 ~ 17	初夏, 秋	+1
17 ~ 22	夏, 初秋	+3
> 23	盛 夏	> +5

温度低于-3℃时,土壤水分结冰,植物的生命活动停止,呈现出一派荒凉的景象,相当于严冬。

-3~+2℃时降雪或冻雨,是一般的冬天景象,相当于隆冬。

2~7℃时,秋天是从红叶到落叶期间;春天,树木还未展叶,早春的花儿已经开了。这时相当于早春或初冬。因为植物已开始生长,该温度范围以上的时期也称作植物的生长期。

7~12℃时,秋天,树木的叶子从开始变红到完全变成红色;春天,树木开始开花儿,长出翠绿的叶子。这时相当于晚秋或春天。

12~17℃是最舒适的温度,从春天的翠绿转入浓绿,这时相当于秋天或初夏。

17~22℃时,稍微感到有些热,在日本正赶上秋天的绵雨和夏天的梅雨,所以往往感到很闷热。这时相当于夏天或初秋。

23℃以上对于日本人来说就相当于盛夏了。

湿球温度低于7℃的时期相当于冬季,高于17℃的时期相当于夏季,二者之间是夏季和秋季,所以这两条等温线的移动与季节的更替关系很密切。据此我们可以对冬季流行病和夏季流行病的地区采取相应的措施。季节更替情况如图7（略）所示。

下面在全日本选取了4个有代表性的地点来表示根据湿球温度（用这种分类法）划分的季节,见图8。由图中看,随着纬度Φ的升高季节的更替很明显。这样,从体感气候的角度,我们把人体对冷暖的感觉用湿球温度表示出来,并且得到了它在日本的月变化和地理分布。如图5（略）、图6（略）,整个日本,冬季南北的湿球温度差达16℃,与南方相比北方极为寒冷。相反,夏季南北温差只有8℃,温度变化比较平衡,特别是8月份,本州、四国、九州的湿球温度几乎没有什么差别。这里所用的温度资料主要来源

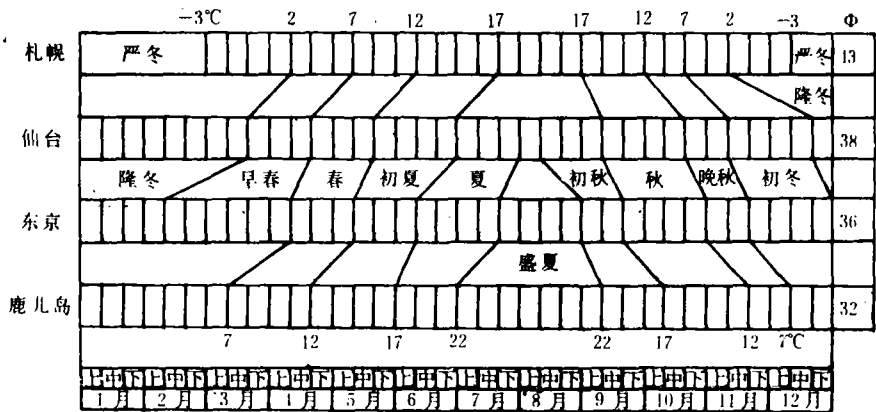


图8 日本湿球温度的季节变化

# 旅游业的社会影响

A. 马西森等

旅游业的社会影响可涉及三个方面：旅客、旅游地居民、游客与旅游地居民的关系。本文着重于后两个方面。

对旅游业的早期研究一般都集中在它对旅游地的经济影响。对社会影响的研究始于近几年。旅游业的社会影响指的是旅游业带来的表现在价值观、个人行为、家庭关系、生活方式、道德观念等方面的变化。简单地说，是对人的影响，是旅游地居民通过与游客的直接或间接接触而受到的影响。目前的研究涉及几个方面：旅游地居民对游客的态度：从欢迎到憎畏；旅游业对社会道德、宗教、语言和健康的影响。下面，本文将就以上几个方面进行分析。

**一、旅游地居民态度的变化：从欢迎到憎畏** 旅游业发展之初，旅游地居民无一不以欢迎的态度对待蜂拥而至的投资者和游客，当地政府也乐于提供各种支持，因为旅游地的开发将带来的经济利益是显而易见的。然而，随着旅游业的发展和游客的激增，当地人的热情渐淡，他们开始担心自己的传统习俗和生活方式将会受到冲击。尽管他们知道这一切都不可避免，但他们丝毫不希望原有的社会结构走向毁灭。过去人们由于经济上的原因而不愿谈及旅游业所带来的恶果，现在他们已经开始公开表示自己的不满。究其原因，这种态度的变化是有一个过程的：从游客的出现，到游客所带来的示范效应，到旅游业发展使旅游也成为“新殖民地”，到娼妓泛滥、犯罪率上升和赌博盛行，当地人已无法再对旅游业保持好感了。

**大批游客的出现** 旅游季节一到，各旅游地就游客如云，其中许多人是成批而至的，他们使旅游地变得拥挤不堪，给当地居民的生活带来很大不便；居民们不得不忍受那种拥挤并分担游客的各种不便。

**示范效应** 研究者们已经注意到：旅游业的发展导致旅游地居民去追求一些可望不可及的社会经济利益。因为游客的不同于他们的生活方式给他们带来了示范效应。不幸的是，

于平原气象台站，所以如果夏季想到体感温度比较低的地方避暑，最好是去高山。

图7（略）中被作为冬季界限的7℃等温线3月份时在南九州，4月、5月以每月5个纬度的速度向北推进。相反，被作为夏季界限的17℃等温线5月份时在南九州，6月、7月每月向北推进5个纬度，9月、10月南下时的速度稍快，达到每月6个纬度。

通过这种方式能够很方便地确定日本各地的季节。这种季节的划分不仅可以用于人们的日常生活，同时也可以为引进作物和家畜新品种提供参考。

**结论** 湿球温度与温度、湿度以及百叶箱内极其缓慢的空气流动有关，具有与人

的体感非常接近、计算和实测都很方便等特点。由于皮肤表面也是一个蒸发面，所以湿球温度与实际的体感比较一致。正因为如此，通过它我们求出了人体的舒适体感范围的分布、湿球温度在日本的分布，并探讨了季节的划分及其更替，同时，从另一个侧面揭示了夏季日本各地气候差异较小而冬季差异较大的气候特征。这些都可以为日本当前的农业多样化提供参考。今后，湿球温度应当成为各地的气象台站和各个研究所的观测内容之一，并作为生理气象的基础数据。

吴波译自《九州大学农学部学芸杂志》第26卷，第1—4号，293—308（1972），刘继韩校。